

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**



**Contribuições para um Projeto mais Sustentável  
de Redes de Distribuição de Baixa Tensão**

Pedro Miguel da Costa Seabra

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do  
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
Major Energia

Orientador: Professor Doutor José Neves dos Santos

Março de 2013




A Dissertação intitulada

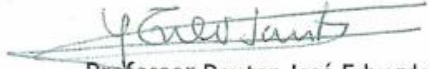
“Contribuições para um Projeto mais Sustentável de Redes de Distribuição de  
Baixa Tensão”

foi aprovada em provas realizadas em 06-03-2013

o júri

  
Presidente Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura  
Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de  
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

  
Professora Doutora Fernanda de Oliveira Resende  
Professora Auxiliar da Universidade Lusófona

  
Professor Doutor José Eduardo Roque Neves dos Santos  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de  
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.

  
Autor - Pedro Miguel da Costa Seabra

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



# Resumo

As despesas associadas à exploração das Redes de Distribuição de Baixa Tensão (RDBT's) assumem valores bastante significativos para as companhias elétricas responsáveis por estas. Deste modo, o projeto destas redes é um processo de decisão muito importante, com consequências diretas nos encargos. É neste sentido, que se torna necessária a existência de um conjunto de sugestões focadas em padrões de qualidade de desenho, direcionadas para os objetivos económicos e, baseadas na legislação existente.

No projeto das RDBT's existem várias decisões que devem ser tomadas antes do dimensionamento da rede propriamente dito, tais como, a definição da estrutura da rede e a localização dos postos de transformação (PT's) assim como a dos armários de distribuição (AD's). Não ponderadas devidamente, estas decisões são tomadas, muitas vezes, sem ter em conta o ponto de vista económico.

A presente dissertação tem por objetivo criar a formulação de um conjunto de pressupostos orientadores de modo a racionalizar o projeto da rede. De forma a obter estes pressupostos, foi construída uma aplicação de apoio ao projeto das RDBT's. Esta aplicação foi desenvolvida com o objetivo de simplificar a criação de várias soluções para as várias configurações da rede. Através desta ferramenta foram desenvolvidas algumas soluções para um caso de estudo, onde se obtiveram resultados que permitiram demonstrar o interesse da aplicação construída.

Apesar de existirem inúmeras configurações possíveis relativamente a RDBT's, foram analisadas várias situações hipotéticas de forma a reproduzir as que mais frequentemente surgem nos casos reais.

Palavras chave: Rede de Distribuição Baixa Tensão, Posto de Transformação, Armário de Distribuição, Custos de investimento, Custos de exploração, Análise Técnica, Análise Económica.



# Abstract

*The electric companies in charge have significant costs associated with the Low-Voltage Distribution Network. In that way, the project regarding these networks demands a very important decision process that will impact the costs of these. Therefore, the need for suggestions on design patterns that are in line with economic goals and respect existing legislation has become more and more important.*

*In the Low-Voltage Distribution Network project there are various decisions that need to be made before its dimensions are established such as the definition of its structure, location of each transformation pole and distribution cabinets. Since there is no limiting budget for the project, as happens in the majority of these cases, these decisions are usually disregarded by project managers and performed in a poorly sustained manner, economic-wise.*

*This dissertation's aim is to create a series of assumptions in order to help with the design of the network. To this end, an auxiliary application for the Low-Voltage Distribution Network project was built so as to simplify the development of different network configuration solutions. Therefore, different solutions were developed for a case study where the results enabled the creation of each desired assumption.*

*Even though there are innumerable configuration possibilities regarding distribution networks, the situations analyzed were ones easily adaptable to real life circumstances.*

*Key words: Low-Voltage Distribution Network, Transformation Pole, Distribution Cabinets, Investment Costs, Exploration Costs, Technical Analysis, Economic Analysis.*





# Agradecimentos

O finalizar do meu trajeto acadêmico é marcado pela realização da presente dissertação de mestrado, e por isso durante estes cinco meses sentimentos de alegria e de tristeza cruzaram-se variadíssimas vezes. Naturalmente, a chegada à meta, assim como todo o seu percurso só foi possível graças à ajuda de várias pessoas que, em determinada altura, marcaram a minha vida.

Gostaria de agradecer de forma especial ao meu orientador Professor Doutor José Neves dos Santos, pela sua orientação, sugestões, disponibilidade e simpatia demonstrada perante as dúvidas e incertezas que fui colocando semana a semana.

O maior dos agradecimentos é dedicado aos meus Pais, Agostinho e Maria, que durante todo o percurso me proporcionaram todas as condições necessárias apesar do sacrifício que toda esta jornada implicou. À minha irmã, Daniela, que apesar de mais nova, se tornou um exemplo para mim no que diz respeito ao espírito de trabalho e dedicação que coloca em todos os seus projetos. À minha namorada, Carla, pelo carinho e amor que sempre me deu nos momentos de maiores dúvidas e ansiedade.

A todos os meus amigos, os da faculdade que me acompanharam e partilharam alguns dos melhores momentos da minha vida, os de infância que apesar terem seguido caminhos diferentes, continuam a exercer uma grande influência na minha vida e ainda os amigos que fui criando ao longo do percurso como atleta profissional de futebol que sempre me aconselharam da melhor forma.

O meu profundo e sincero obrigado a todos!



# Índice

<b>Resumo .....</b>	<b>v</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>vii</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Lista de Tabelas .....</b>	<b>xix</b>
<b>Abreviaturas e Símbolos .....</b>	<b>xxi</b>
<b>Capítulo 1 Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1 - Enquadramento .....	1
1.2 - Motivação .....	2
1.3 - Objetivos .....	3
1.4 - Estrutura da dissertação .....	3
<b>Capítulo 2 Redes de Distribuição Baixa Tensão: Aspetos Legislativos e de Dimensionamento.....</b>	<b>5</b>
2.1 - Introdução .....	5
2.2 - Legislação Portuguesa .....	5
2.2.1 - Condições de Estabelecimento.....	6
2.2.2 - Armários de Distribuição. ....	6
2.2.3 - Cabos .....	7
2.2.4 - Proteção para Cabos dos Ramais .....	7
2.2.5 - Tubos .....	7
2.3 - Dimensionamento da Rede de Distribuição Baixa Tensão .....	8
2.3.1 - Fatores de Simultaneidade .....	8
2.3.2 - Corrente de Serviço .....	9
2.3.3 - Condições Técnicas .....	9
2.3.4 - Seletividade das Proteções .....	11
2.3.5 - Secção Económica .....	11
<b>Capítulo 3 Aplicação de Apoio ao Projeto das RDBT´s .....</b>	<b>15</b>
3.1 - Introdução .....	15
3.2 - Ferramenta de suporte à aplicação .....	15
3.3 - Construção da aplicação .....	16

3.3.1 - Definição do número de instalações de utilização e seu destino e atribuição de potências máximas admissíveis a cada uma delas. ....	16
3.3.2 - Cálculo da Potência Requisitada da Urbanização. ....	17
3.3.3 - Definição do número de PT's e primeira estimativa das potências estipuladas dos mesmos. ....	17
3.3.4 - Divisão da urbanização em áreas de influência de cada PT. ....	17
3.3.5 - Implantação dos PT's tendo em conta, por um lado, a rede Média Tensão (MT) já existente, por outro, a proximidade com as cargas BT e, por outro, ainda, restrições várias como facilidade de acessos, proximidade com vias públicas, etc. Cálculo dos Centros de Cargas dos PT's e, eventual, ajuste das localizações de acordo com o enunciado na etapa anterior. ....	17
3.3.6 - Definição o número de saídas para cada PT, com base na Potência Estipulada do mesmo. ....	18
3.3.7 - Para cada PT, subdivisão da parte da urbanização que ele alimenta, em áreas de influência por cada Saída (Canalização Principal), procurando equilíbrio de potências e/ou de comprimentos entre as várias Saídas. ....	18
3.3.8 - Dimensionamento da rede (Canalizações Principais e, se for o caso, Ramais): secções dos cabos; calibres dos fusíveis; poder de corte dos fusíveis. ....	19
<b>Capítulo 4 Caso de Estudo: Análise de Soluções .....</b>	<b>27</b>
4.1 - Introdução.....	27
4.2 - Caracterização da Urbanização (Caso de Estudo).....	27
4.2.1 - Definição de potências para as instalações de utilização .....	28
4.2.2 - Distribuição das cargas por zonas .....	29
4.2.3 - Definição das saídas .....	29
4.3 - Análise sob o ponto de vista técnico .....	31
4.3.1 - Critérios usados na geração de soluções.....	32
4.3.2 - Análise de resultados para a Condição de Queda de Tensão.....	32
4.3.3 - Análise de resultados para a condição de proteção contra curto circuito.....	47
4.4 - Análise sob o ponto de visto económico .....	62
4.4.1 - Introdução.....	62
4.4.2 - Soluções de escolha de cabos: Análise Económica .....	64
4.4.3 - Soluções de localização dos AD's: Análise Económica .....	72
4.4.4 - Conclusões .....	79
<b>Capítulo 5 Conclusões .....</b>	<b>83</b>
5.1 - Principais Contribuições da Dissertação .....	83
5.2 - Desenvolvimentos Futuros.....	83
<b>Referências .....</b>	<b>85</b>
<b>Anexo A Aplicação de Apoio ao Projeto das RDBT's.....</b>	<b>87</b>
<b>Anexo B Definições .....</b>	<b>101</b>
<b>Anexo C Análise de Casos particulares Utilizando a Aplicação de Apoio ao Projeto das RDBT's.....</b>	<b>103</b>

# Lista de Figuras

Figura 2.1 - Relação entre custo de investimento, custo de exploração e custo total com o aumento da secção [7]. .....	12
Figura 4.1 - Planta da urbanização. ....	27
Figura 4.2 - Estrutura da saída 1. ....	30
Figura 4.3 - Estrutura da saída 2. ....	30
Figura 4.4 - Estrutura da saída 3. ....	30
Figura 4.5 - Estrutura da saída 4. ....	30
Figura 4.6 - Estrutura da saída 5. ....	30
Figura 4.7 - Valor percentual da queda de tensão da saída 1 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3). ....	33
Figura 4.8 - Valor percentual da queda de tensão da saída 1 (soluções 2.1, 2.2 e 2.3). ....	35
Figura 4.9 - Valor percentual da queda de tensão da saída 1 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3). ....	36
Figura 4.10 - Valor percentual da queda de tensão da saída 1 (soluções 4.1, 4.2 e 4.3). ....	38
Figura 4.11 - Valor percentual da queda de tensão da saída 2 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3). ....	40
Figura 4.12 - Valor percentual da queda de tensão da saída 2 (soluções 2.1, 2.2 e 2.3). ....	41
Figura 4.13 - Valor percentual da queda de tensão da saída 2 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3). ....	42
Figura 4.14 - Valor percentual da queda de tensão da saída 2 (soluções 4.1, 4.2 e 4.3). ....	43
Figura 4.15 - Valor percentual da queda de tensão da saída 3 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3). ....	44
Figura 4.16 - Valor percentual da queda de tensão da saída 3 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3). ....	44
Figura 4.17 - Valor percentual da queda de tensão da saída 4 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3). ....	45
Figura 4.18 - Valor percentual da queda de tensão da saída 4 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3). ....	45
Figura 4.19 - Valor percentual da queda de tensão da saída 5 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3). ....	46
Figura 4.20- Valor percentual da queda de tensão da saída 5 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3). ....	46
Figura 4.21 - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 1 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3). ....	48

Figura 4.22 - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 1 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3). ....	49
Figura 4.23 - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 1 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3). ....	50
Figura 4.24 - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 1 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3). ....	51
Figura 4.25 - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 2 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3). ....	53
Figura 4.26 - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 2 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3). ....	54
Figura 4.27 - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 2 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3). ....	55
Figura 4.28 - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 2 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3). ....	56
Figura 4.29 - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 3 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3). ....	57
Figura 4.30 - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 3 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3). ....	57
Figura 4.31 - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 3 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3). ....	57
Figura 4.32 - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 3 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3). ....	58
Figura 4.33 - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 4 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3). ....	58
Figura 4.34 - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 4 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3). ....	58
Figura 4.35 - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 4 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3). ....	59
Figura 4.36 - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 4 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3). ....	59
Figura 4.37 - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 5 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3). ....	60
Figura 4.38 - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 1 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3). ....	60
Figura 4.39 - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 5 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3). ....	61
Figura 4.40 - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 5 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3). ....	61
Figura 4.41 - Custos para a saída 1 referente a 10 anos de duração da instalação. ....	64
Figura 4.42 - Custos para a saída 1 referente a 25 anos de duração da instalação. ....	65
Figura 4.43 - Custos para a saída 1 referente a 50 anos de duração da instalação. ....	65
Figura 4.44 - Custos para a saída 2 referente a 10 anos de duração da instalação. ....	65
Figura 4.45 - Custos para a saída 2 referente a 25 anos de duração da instalação. ....	66
Figura 4.46 - Custos para a saída 2 referente a 50 anos de duração da instalação. ....	66

Figura 4.47 - Custos para a saída 3 referente a 10 anos de duração da instalação. ....	66
Figura 4.48 - Custos para a saída 3 referente a 25 anos de duração da instalação. ....	67
Figura 4.49 - Custos para a saída 3 referente a 50 anos de duração da instalação. ....	67
Figura 4.50 - Custos para a saída 4 referente a 10 anos de duração da instalação. ....	67
Figura 4.51 - Custos para a saída 4 referente a 25 anos de duração da instalação. ....	68
Figura 4.52 - Custos para a saída 4 referente a 50 anos de duração da instalação. ....	68
Figura 4.53 - Custos para a saída 5 referente a 10 anos de duração da instalação. ....	68
Figura 4.54 - Custos para a saída 5 referente a 25 anos de duração da instalação. ....	69
Figura 4.55 - Custos para a saída 5 referente a 50 anos de duração da instalação. ....	69
Figura 4.56 - Custos para a saída 1 referente a 10 anos de duração da instalação. ....	70
Figura 4.57 - Custos para a saída 1 referente a 25 anos de duração da instalação. ....	71
Figura 4.58 - Custos para a saída 1 referente a 50 anos de duração da instalação. ....	71
Figura 4.59 - Custos para a saída 1 utilizando a solução económica. ....	73
Figura 4.60 - Custos para a saída 2 utilizando a solução económica. ....	73
Figura 4.61 - Custos para a saída 3 utilizando a solução económica. ....	74
Figura 4.62 - Custos para a saída 4 utilizando a solução económica. ....	74
Figura 4.63 - Custos para a saída 5 utilizando a solução económica. ....	74
Figura 4.64 - Custos para a saída 1 utilizando a solução técnica. ....	75
Figura 4.65 - Custos para a saída 2 utilizando a solução técnica. ....	76
Figura 4.66 - Custos para a saída 3 utilizando a solução técnica. ....	76
Figura 4.67 - Custos para a saída 4 utilizando a solução técnica. ....	76
Figura 4.68 - Custos para a saída 5 utilizando a solução técnica. ....	77
Figura 4.69 - Custos para a saída 1 utilizando a solução EDP. ....	77
Figura 4.70 - Custos para a saída 2 utilizando a solução EDP. ....	78
Figura 4.71 - Custos para a saída 3 utilizando a solução EDP. ....	78
Figura 4.72 - Custos para a saída 4 utilizando a solução EDP. ....	78
Figura 4.73 - Custos para a saída 5 utilizando a solução EDP. ....	79
 Figura A. 1 - Tabela de Dados da Urbanização. ....	 88
Figura A. 2- Quadro informativo da potência da urbanização. ....	88

Figura A. 3 - Tabela de escolha dos PT's.....	89
Figura A. 4 - Tabela de seleção do PT e das potências a serem alimentadas por este. ....	89
Figura A. 5 - Percentagem de potência que o PT deve fornecer. ....	90
Figura A. 6 - Localização geográfica de cargas para divisão da urbanização em área de influência de todos os PT's. ....	90
Figura A. 7 - Quadro de localização do PT. ....	91
Figura A. 8 - Escolha do número de saídas. ....	91
Figura A. 9 - Localização geográfica de cargas para definir saídas. ....	91
Figura A. 10 - Grelha de apoio à definição das saídas do PT. ....	93
Figura A. 11 - Tabela de dimensionamento da RDBT.....	94
Figura A. 12 - Tabelas de fatores de correção. ....	95
Figura A. 13 - Tabelas de preços de material. ....	96
Figura A. 14 - Tabela de análise de Queda de Tensão. ....	97
Figura A. 15 - Tabela de análise de Corrente Curto Circuito. ....	98
Figura A. 16 - Quadro de análise orçamental.....	99
Figura A. 17 - Quadro de análise orçamental 2. ....	99
Figura C. 1 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 1). ....	103
Figura C. 2 - Custos para o caso 1. ....	104
Figura C. 3 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 2). ....	105
Figura C. 4 - Custos para o caso 2. ....	105
Figura C. 5- Localização geográfica de cargas e PT (caso 3). ....	106
Figura C. 6 - Custos para o caso 3. ....	106
Figura C. 7 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 4). ....	107
Figura C. 8 - Custos para o caso 4. ....	107
Figura C. 9 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 5). ....	108
Figura C. 10 - Custos para o caso 5.....	109
Figura C. 11 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 6). ....	109
Figura C. 12 - Custos para o caso 6.....	110
Figura C. 13 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 7). ....	111



Figura C. 14 - Custos para o caso 7. ....	111
Figura C. 15 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 8). ....	112
Figura C. 16 - Custos para o caso 8. ....	112
Figura C. 17 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 9). ....	113
Figura C. 18 - Custos para o caso 9. ....	113
Figura C. 19 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 10). ....	114
Figura C. 20 - Custos para o caso 10. ....	115



## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Cabos normalizados pela EDP para RDBT subterrâneas [5]. .....	7
Tabela 2.2 - Calibre dos fusíveis a utilizar para os respetivos cabos [6]. .....	7
Tabela 2.3 - Tubos a utilizar na proteção dos cabos subterrâneos [6]. .....	8
Tabela 4.1- Descrição das Potência das Instalações. ....	28
Tabela 4.2 - Divisão das Potências pelas respetivas saídas do PT1. ....	29
Tabela 4.3 - Custos totais utilizando a solução técnica. ....	72
Tabela 4.4 - Custos totais utilizando a solução EDP. ....	72
Tabela 4.5 - Custos totais utilizando a solução económica. ....	72
Tabela 4.6 - Relação de custo entre soluções de escolha de cabos e localização de AD's. ....	79



# Abreviaturas e Símbolos

## Lista de abreviaturas

AD	Armário de Distribuição
BT	Baixa Tensão
CC	Curto Circuito
EDP	Energias de Portugal
EE	Energia Elétrica
MT	Média Tensão
PT	Posto de Transformação
QC	Quadro de colunas
QGBT	Quadro Geral Baixa Tensão
RDBT	Rede de Distribuição Baixa Tensão
RSRDEEBT	Regulamento de Segurança Redes Distribuição de Energia Elétrica
SEE	Sistema Elétrica Energia

## Lista de símbolos

V	Volt
K	Quilo
A	Ampère
€	Euro



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 - Enquadramento

A energia elétrica (EE), da qual a maioria da população mundial usufrui em suas casas, local de trabalho, centros comerciais, estádios entre muitos outros locais, passa por vários processos até estar disponível na forma útil. O processo de produção é iniciado nos centros produtores (centrais térmicas, hídricas, eólicas), sendo depois realizado o transporte da energia produzida através das redes de distribuição (RD's) de energia elétrica até à chegada aos locais supracitados. A RD é composta por subestações, postos de transformação (PT's) e linhas de alta, média e baixa tensão [1].

As linhas de baixa tensão (BT), que podem ser aéreas ou subterrâneas, têm como função o transporte da EE desde os PT's até aos pontos de consumo em BT, fazendo assim parte, das RDBT's. Uma RDBT parte do Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) dos PT's, fazendo a ligação entre estes e os armários de distribuição (AD's). Dos AD's existem derivações para outros AD's e ligações às instalações de utilização, denominadas por ramais. Os ramais partem dos AD's e são ligados às portinholas ou a quadros de coluna (QC), no caso dos blocos de habitações ou ao aparelho de corte de uma entrada da instalação de utilização. Uma RDBT é estruturada radialmente e pode ser aérea ou subterrânea. O primeiro tipo é tipicamente usado em zonas rurais, sendo o segundo tipicamente usado em meios urbanos [2].

Com o aumento dos pontos de consumo de EE verificado ao longo das últimas décadas a RDBT tornou-se cada vez mais complexa, sendo o seu projeto fundamental para o bom funcionamento do sistema elétrico de energia (SE). O projeto de uma RDBT é composto pelas seguintes etapas [3]:

- Compreensão da Planta do Loteamento;
- Definição do número de Instalações de Utilização e seu destino; atribuição de potências máximas admissíveis a cada uma delas;
- Definição do número de Ramais;
- Cálculo da Potência Requisitada da Urbanização;
- Definição do número de PT's e primeira estimativa das potências estipuladas dos mesmos;
- Divisão da urbanização em áreas de influência de todos os PT's;
- Cálculo da Potência Estipulada de todos os PT's.

- Implantação dos PT's tendo em conta, por um lado, a rede Média Tensão (MT) já existente, por outro, a proximidade com as cargas BT e, por outro, ainda, restrições várias como facilidade de acessos, proximidade com vias públicas, etc;
- Cálculo dos Centros de Cargas dos PT's e, eventual, ajuste das localizações de acordo com o enunciado na etapa anterior;
- Para todos os PT's definir o número de Saídas, com base na potência estipulada do mesmo;
- Para todos os PT's subdividir da parte da urbanização que ele alimenta, em áreas de influência por cada Saída (canalização principal), procurando equilíbrio de potências e/ou de comprimentos entre as várias Saídas;
- Traçado (em papel) da RDBT (canalização principal e AD);
- Desenho da rede com cálculo rigoroso de comprimentos das canalizações principais;
- Definição do(s) tipo(s) de cabos(s) a usar e suas secções.
- Dimensionamento da rede (Canalizações Principais e, se for o caso, Ramais): secções dos cabos; calibres dos fusíveis; poder de corte dos fusíveis.

Relativamente às etapas enunciadas, todas podem ser alvo de múltiplas abordagens por parte dos projetistas à exceção das que são regulamentadas, como é o caso da etapa de seleção do tipo de cabo e sua secção bem como o dimensionamento da rede que é realizado segundo o cumprimento de certas condições. Assim sendo o mesmo projeto pode ter soluções técnicas distintas quando realizado por diferentes projetistas.

As soluções referidas anteriormente têm associados dois tipos de encargos:

- Encargos de investimento, suportados pelo requisitante da obra.
- Encargos de exploração, suportados pela empresa exploradora da instalação.

O projetista encontra assim um grande problema que terá de resolver, de modo a obter a melhor solução económica possível. Para tal, torna-se importante ter uma aplicação de apoio ao projeto das RDBT's, que permita fornecer várias estimativas orçamentais para as soluções desenvolvidas pelo projetista.

### 1.2 - Motivação

Atualmente, onde se procuram soluções cada vez mais económicas para as RDBT's, torna-se necessário uma reflexão por parte do projetista relativamente à estrutura da rede, assim como, a localização dos PT's e AD's, respeitando sempre as regras impostas pelas entidades responsáveis de regulamentação.

O balanço entre o encargo de investimento e o encargo de exploração é, na maior parte dos casos, esquecido por quem desenha a rede, visto que quem suporta estes custos está posicionado em lados opostos. É neste âmbito, que a importância dos projetistas se destaca, na medida em que decisões pouco refletidas podem conduzir a gastos desnecessários e a uma fraca organização estrutural das redes, com impacto direto em aspetos económicos, ambientais e sociais.



Posto isto, torna-se necessário um estudo sobre o tema, de forma a obter uma formulação de um conjunto de pressupostos que sirvam como ponto de partida e orientação para a criação de um projeto mais sustentável.

### 1.3 - Objetivos

Com este estudo pretende-se criar uma metodologia de apoio ao projetista no projeto das RDBT's, por forma a promover a construção de projetos mais sustentáveis no ponto de vista económico. Os objetivos definidos para este estudo foram os seguintes:

- Compreender em que medida as decisões tomadas pelo projetista podem ter implicações no dimensionamento da RD que, por sua vez, terá influência na sustentabilidade económica do projeto:
  - Analisar o impacto da localização dos postos de transformação no dimensionamento da rede;
  - Analisar o impacto da localização dos armários de distribuição no dimensionamento da rede.
- Criar uma aplicação que permita auxiliar o projetista no dimensionamento das RDBT's;
  - Criar ferramentas que permitam uma análise técnica imediata no momento de dimensionamento das RDBT's;
  - Criar ferramentas que permitam uma análise económica imediata no momento de dimensionamento das RDBT's.
- Sugerir um conjunto de pressupostos de auxílio ao projetista, no momento da decisão estrutural das RDBT's:
  - Elaborar um conjunto de sugestões sobre a localização dos PT's com base nos resultados obtidos;
  - Elaborar um conjunto de sugestões sobre a localização dos AD's com base nos resultados obtidos.

### 1.4 - Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos.

No primeiro capítulo, é feita uma breve introdução ao trabalho desenvolvido, salientando a motivação e a importância do desenvolvimento deste tema, sendo também definido os objetivos gerais e específicos da dissertação.

No segundo capítulo é realizada uma abordagem sucinta de aspetos relacionados com as RDBT's. Posteriormente é apresentada uma síntese da legislação em vigor referente às urbanizações e ao material a ser utilizado nas RDBT's. São ainda apresentadas as etapas associadas ao dimensionamento das RDBT's, sendo também, destacadas todas as condições a

serem verificadas nesta fase do projeto. O problema da secção económica também será abordado neste capítulo.

No terceiro capítulo é apresentada a aplicação de apoio ao projeto das RDBT's.

No quarto capítulo é analisado um caso de estudo onde serão desenvolvidas várias soluções a partir da aplicação construída. É ainda realizada uma análise às soluções.

No quinto e último capítulo, são demonstradas as contribuições obtidas com o estudo realizado e descritas as perspectivas futuras relacionadas com este tema.

No anexo A é apresentado o guia de utilizador da aplicação desenvolvida.

No anexo B são apresentadas algumas definições para uma melhor compreensão do documento.

No anexo C são descritas e analisadas dez configurações particulares de uma RDBT a partir da aplicação desenvolvida.

## Capítulo 2

# Redes de Distribuição Baixa Tensão: Aspetos Legislativos e de Dimensionamento

### 2.1 - Introdução

Na construção das RDBT's existem vários regulamentos e documentos normativos que têm de ser seguidos de forma a garantir a boa segurança da via pública e consequentemente de todos os seus utilizadores. Neste capítulo será feita uma sucinta abordagem à legislação existente em Portugal.

Uma RDBT é definida como uma "instalação eléctrica de baixa tensão destinada à transmissão de energia eléctrica a partir de um Posto de Transformação ou de uma central geradora, constituída por canalizações principais e ramais" [2]. Por outras palavras uma RDBT consiste no conjunto de canalizações de canalizações principais, que fazem a ligação entre PT e AD, e ramais, que fazem a ligação entre o PT ou AD e portinhola, quadro de colunas ou aparelho de corte de entrada de uma instalação de utilização.

Existem ainda outras definições importantes na compreensão do presente documento que poderão ser consultadas no anexo B.

### 2.2 - Legislação Portuguesa

Na construção das RDBT's é necessário ter em conta diversos regulamentos nas diferentes etapas de planeamento, para que se possa garantir uma correta segurança da instalação. Os regulamentos a serem respeitados são os seguintes:

- Regras técnicas de instalações eléctricas de Baixa Tensão (R.T.I.E.B.T.);
- Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão (R.S.R.D.E.E.B.T.)-,
- Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e de Seccionamento (R.S.S.P.T.S.);
- Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão (R.S.L.E.A.T.);

Existem para além destes, regulamentos normativos da empresa Energias de Portugal (EDP), empresa exploradora das RDBT's em Portugal. Os documentos normativos supracitados são os seguintes:

- Guia técnico de Urbanizações, EDP-Distribuição, SA;
- Guia técnico de Terras, EDP-Distribuição, SA;
- DMA-C62-801N, Materiais para derivações e entradas BT, EDP-Distribuição, SA;
- DIT-C14-100N, Ligação de clientes BT, EDP-Distribuição, SA.

Os projetos das RDBT's devem obedecer às normas presentes nos documentos normativos apresentados.

### 2.2.1 - Condições de Estabelecimento

Para garantir o estabelecimento das RDBT's, são necessários vários equipamentos e materiais, os quais deverão respeitar todas as imposições do Capítulo II do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão (RSRDEEBT). Deste modo, é possível salvaguardar a segurança das pessoas e instalações, bem como garantir o correto funcionamento da rede. Relativamente à concepção das RD's o regulamento no capítulo III no artigo 9º menciona que “a rede de distribuição terá de ser concebida para desempenhar com eficiência e boas condições de segurança os fins a que se destina”, assim sendo, todas as condições técnicas impostas pelos regulamentos deverão ser cumpridas na íntegra. As variações de tensão em qualquer ponto das RD's não deverão ser superiores a 8% da tensão nominal, sendo que no caso de RD's em meios urbanos recomenda-se que esta variação não ultrapasse os 5%. Relativamente às canalizações principais, o regulamento refere que estas devem ser trifásicas, não sendo feita referência ao tipo de alimentação dos ramais, ficando o mesmo ao critério do projetista [2].

### 2.2.2 - Armários de Distribuição

A ligação entre AD's é realizada através de uma canalização principal, estando os armários equipados na saída com triblocos, sendo que na entrada a ligação pode ser realizada de duas formas [4]:

- Triblocos equipados com barras condutoras em vez de fusíveis;
- Triblocos equipados com fusíveis;

Relativamente ao tipo de AD a ser utilizado existem três tipos normalizados [4]:

- Tipo X, constituído por cinco circuitos com cinco triblocos tamanho dois;
- Tipo W, constituído por seis circuitos com dois triblocos tamanho dois e quatro triblocos tamanho 00;
- Tipo T, constituído por seis circuitos com quatro triblocos tamanho 00 e 2 ligados diretamente ao barramento;

### 2.2.3 - Cabos

Apesar da diversidade de cabos que podem ser usados nas RDBT's, a EDP apresenta um conjunto de cabos normalizados que devem ser utilizados nas redes subterrâneas. Os cabos normalizados apresentam-se na tabela 2.1 [4]:

**Tabela 2.1** - Cabos normalizados pela EDP para RDBT's subterrâneas [4].

<b>Utilização</b>	<b>Tipo (<math>mm^2</math>)</b>
Rede subterrânea de BT: canalizações principais	LVAV 3x185+95
	LSVAV 4x95
Rede subterrânea de BT: ramais	LVAV 3x185+95
	LSVAV 4x95
	LSVAV 4x35
	LSVAV 4x16
	LSVAV 2x16

### 2.2.4 - Proteção para Cabos dos Ramais

Os valores normalizados relativos ao calibre dos fusíveis a usar nos cabos dos ramais, estão apresentados na tabela 2.2 [5]:

**Tabela 2.2** - Calibre dos fusíveis a utilizar para os respetivos cabos [5].

<b>Utilização</b>	<b>Tipo (<math>mm^2</math>)</b>	<b>In fusível (A)</b>
Rede subterrânea de BT: ramais	LVAV 3x185+95	315
	LSVAV 4x95	200
	LSVAV 4x35	100
	LSVAV 4x16	80
	LSVAV 2x16	80

### 2.2.5 - Tubos

Relativamente aos tubos a utilizar nas travessias, a EDP indica que devem ser usados tubos PEAD/PEBD de diâmetros 110 mm, 125mm ou 160 mm [5].

Para os ramais, onde os cabos devem ser entubados, são indicados os diâmetros mínimos dos tubos a serem usados, como é visível na tabela 2.3 [5]:

Tabela 2.3 - Tubos a utilizar na proteção dos cabos subterrâneos [5].

Cabos subterrâneos – LSVAV e LVAV				
Designação do cabo	Tipo de tubo (subida a poste)		Tipo de tubo (subida a poste)	
LSVAV 2x16	PVC 40 mm (“1” ¼)	PN 10 kg/cm2	63 mm	PEAD/PEBD
LSVAV 4x16	PVC 40 mm (“1” ½)			
LSVAV 4x35	PVC 50 mm (“2”)			
LSVAV 4x95	PVC 63 mm		125 mm	
LVAV 3x185+95	-			

## 2.3 - Dimensionamento das Redes de Distribuição Baixa Tensão

O dimensionamento das RDBT's é um processo fundamental do planeamento da rede, onde são seleccionadas as secções dos cabos a usar, bem como os respetivos aparelhos de proteção com o objetivo de garantir a qualidade de serviço a preço adequado. Até se chegar à secção do cabo a usar para uma determinada canalização principal ou ramal, é necessário que se verifiquem as seguintes condições técnicas de funcionamento:

- Condição de aquecimento;
- Condição de proteção contra sobreintensidades;
- Condição de queda de tensão;

É necessário que o cabo a ser usado e respetiva proteção respeitem as condições supracitadas.

### 2.3.1 - Fatores de Simultaneidade

Para iniciarmos o processo de escolha das secções dos cabos, é necessário que depois do conhecimento da potência a alimentar, se calcule os fatores de simultaneidade ( $f_s$ ) para que, posteriormente, se obtenha a corrente de serviço que percorrerá o cabo selecionado. Os fatores de simultaneidade a considerar são os seguintes [4]:

- Para Habitações e Serviços Comuns:

$$f_s = 0,2 + \frac{0,8}{\sqrt{n}} \quad (2.1)$$

- Para Estabelecimentos Comerciais:

$$f_s = 0,5 + \frac{0,5}{\sqrt{n}}, \quad (2.2)$$

onde  $n$  é o número de instalações.

### 2.3.2 - Corrente de Serviço

Calcular a corrente de serviço ( $I_b$ ) é o primeiro passo a ser dado no dimensionamento, para que se possa selecionar a secção do cabo a usar para uma determinada situação. Esta corrente é obtida pela seguinte expressão [2]:

$$I_b = \frac{\sum S \times f_s}{\sqrt{3} \times U_s}, \quad (2.3)$$

onde  $S$  refere-se à potência a alimentar,  $f_s$  ao fator de simultaneidade e  $U_s$  à tensão nominal. Depois de conhecida a corrente de serviço poderá iniciar-se o processo de escolha da secção do cabo. É importante salientar que o cabo escolhido terá de respeitar as condições apresentadas em 2.3 e que serão desenvolvidas em 2.3.3.

### 2.3.3 - Condições Técnicas

#### 2.3.3.1 - Condição de Aquecimento

A condição de aquecimento refere que a corrente máxima admissível ( $I_z$ ) do cabo (valores tabelados pelos fabricantes) terá de ser superior à corrente de serviço ( $I_b$ ) inicialmente calculada. A corrente máxima admissível do cabo pode ser influenciada por fatores de correção ( $f_c$ ). Supondo que o cabo é entubado, a corrente máxima admissível irá ser alterada através da multiplicação dessa corrente pelo respetivo fator de correção. A condição é satisfeita se a corrente máxima admissível, devidamente ajustada pelos fatores de correção, for superior à corrente de serviço [2]:

$$I_b < I_z \times f_c \quad (2.4)$$

#### 2.3.3.2 - Condição de Proteção contra Sobrecargas

O objetivo da condição de proteção contra sobrecargas é possibilitar a seleção do calibre da proteção ( $I_N$ ) a ser utilizado, para garantir a segurança da instalação. A este valor está associada uma corrente convencional de funcionamento ( $I_f$ ). Para garantir a proteção contra sobrecargas, as seguintes condições devem ser verificadas [2]:

$$I_b < I_N < I_z \times f_c \quad (2.5)$$

$$I_f < 1,45 I_z \times f_c \quad (2.6)$$

A condição 2.5 garante que o aparelho de proteção não atua no caso de circular no cabo a corrente de serviço, garantindo em simultâneo que o aparelho atue em tempo útil de forma a evitar possíveis danos no cabo quando a corrente máxima admissível é atingida. Assim,  $I_N$  terá de ser inferior a  $I_Z$ , para que o aparelho possa atuar quando  $I_Z$  for atingido.

A condição 2.6 refere que nos casos em que a corrente que circula na canalização for superior a 45% da corrente máxima admissível, será considerado uma sobrecarga elevada, fazendo com que exista uma atuação do aparelho de proteção num tempo não superior ao convencional.

### 2.3.3.3 - Condição de proteção contra Curto Circuitos

A seguinte condição verifica se o calibre da proteção escolhido anteriormente é capaz de extinguir um curto circuito. Para que tal aconteça é necessário que o tempo de atuação ( $t_a$ ) do aparelho de proteção seja, em simultâneo, inferior ao tempo de fadiga térmica ( $t_{FT}$ ) e a 5 segundos [2]:

$$t_a < t_{FT} \quad (2.7)$$

$$t_a < 5 \text{ s} \quad (2.8)$$

Relativamente ao tempo de fadiga térmica, este é calculado pela seguinte expressão:

$$t_{FT} = \left( K \frac{S}{I_{cc}} \right)^2, \quad (2.9)$$

onde  $K$  é um fator que está relacionado com o material quer do condutor, quer do tipo de isolamento e onde corrente de curto-circuito ( $I_{cc}$ ) corresponde à corrente de curto-circuito fase-neutro. O elemento  $S$  corresponde à secção do neutro, pois este apresentará menor tempo de fadiga térmica. A expressão da corrente de curto circuito é dada pela expressão 2.10 [2]:

$$I_{cc} = C \times \frac{U_{nK}}{(R_F + R_N) \times L}, \quad (2.10)$$

onde  $C$  é um coeficiente de segurança,  $R_F$  e  $R_N$  são as resistências da fase e do neutro respetivamente devidamente corrigidas para a temperatura máxima de curto circuito do cabo em questão e  $L$ , o comprimento da canalização em Quilómetros.

### 2.3.3.4 - Condição de Queda de Tensão

Por último existe a condição de queda de tensão que deve sempre ser verificada, para garantir que a queda de tensão desde o PT até ao final do ramal é inferior ao máximo regulamentar [2]:

$$\Delta U \leq \Delta U_{max} \quad (2.11)$$



A expressão a utilizar para determinar a queda de tensão é a seguinte:

$$\Delta U = r_F \times L \times I_b \quad , \quad (2.12)$$

onde  $r_F$  é a resistência linear do condutor de fase, à temperatura normal de funcionamento para o isolamento,  $L$  é o comprimento da canalização em km e  $I_b$  representa corrente de serviço. Os cabos elétricos, condutores de EE desde uma fonte até um ponto de entrega, possuem diferentes resistências elétricas para diferentes secções, o que faz com que todos estes cabos não apresentem graus de eficiência energética ideais. Existem assim, diferentes desempenhos entre os cabos de secções distintas, no que diz respeito às perdas de EE que estes apresentam.

É de salientar que a expressão 2.12 aplica-se apenas quando se trata de um cabo trifásico. No caso de se tratar de um cabo monofásico, é necessário acrescentar um fator multiplicativo de dois, resultante da queda de tensão provocada pelo retorno da corrente pelo neutro. No caso de alimentação monofásica a queda de tensão passa a ter a seguinte expressão:

$$\Delta U = r_F \times L \times I_b \times 2 \quad (2.13)$$

Numa primeira análise percebe-se que os valores de queda de tensão serão alterados para as diferentes soluções desenvolvidas, pois os comprimentos das canalizações serão diferentes. O tipo de alimentação também altera os valores de queda de tensão, visto que a corrente de serviço apresenta valores diferentes para a alimentação monofásica e para alimentação trifásica.

#### 2.3.4 - Seletividade das Proteções

A seletividade das proteções é outro aspeto que deve ser verificado para assegurar a qualidade e segurança do serviço das RDBT's. Para que esta condição se verifique é necessário que em caso de defeito apenas atue o aparelho de proteção situado imediatamente a montante do defeito, de forma a que as restantes canalizações situadas a montante continuem a funcionar por completo [6].

No caso de existirem fusíveis em série, os regulamentos referem o uso obrigatório de proteções nas situações em que se verificam mudanças de secção para que exista a garantia de seletividade, sendo necessário o uso de fusíveis com a relação de 1:1,6 ou superior. Pode-se concluir que o uso de fusíveis de calibres seguidos da série normalizada é negado, sendo apenas possível usar fusíveis com valores intercalados [5].

#### 2.3.5 - Secção Económica

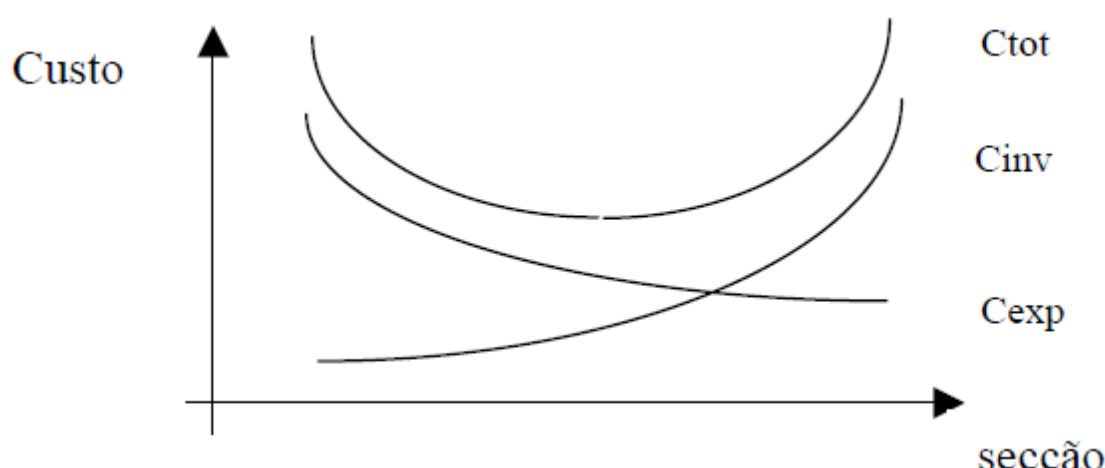
Na etapa de dimensionamento das RDBT's, a secção técnica encontrada que satisfaça todas as condições técnicas de funcionamento é geralmente a considerada pelos projetistas como a secção do cabo a usar para uma determinada canalização. Este critério de selecção da secção traduz-se num encargo inicial mais baixo quando comparado com a escolha de

maiores secções de cabo, sendo que acontece exatamente o contrário no que diz respeito aos encargos de exploração, que diminuem com o aumento da secção do cabo.

A solução técnica traduz-se na solução mais económica a curto prazo, mas considerando que as RDBT's têm um tempo de vida de  $n$  anos, existem encargos de exploração associados à secção de cabo escolhida que terão de ser também analisados. Acontece que por vezes esses encargos de exploração são elevados, ultrapassando os encargos de investimento, fazendo com que a melhor opção seja aumentar a secção do cabo, conseguindo assim um custo global inferior ao custo global da secção considerada inicialmente [6].

Surgem, assim, dois tipos de encargos diferentes:

- encargos de investimento, nomeadamente o custo dos cabos habitualmente suportados pelo requerente da instalação (“Proprietário da obra”);
- encargos de exploração, nomeadamente o custo das perdas de joule, habitualmente suportado pela empresa exploradora.



**Figura 2.1** - Relação entre custo de investimento, custo de exploração e custo total com o aumento da secção [6].

O compromisso entre o custo de investimento e o custo de exploração é fundamental no momento do dimensionamento da RDBT para que a sustentabilidade económica da instalação seja garantida. O objetivo é encontrar uma secção de cabo que melhor satisfaça a relação entre os custos acima designados, de acordo com as condições de exploração da instalação, nomeadamente, o número de anos de vida da instalação.

O cálculo do custo inicial do cabo com secção  $\alpha$  é obtido através da multiplicação do preço do cabo pelo comprimento do mesmo [7]:

$$Ci_{\alpha} = \text{Preço}_{\alpha} \times \text{Comprimento}_{\alpha}(\text{€}) \quad (2.14)$$

O custo de exploração do cabo com secção  $\alpha$  é obtido através do cálculo do valor das perdas devido à resistência  $R$  [7]:

$$Ce_{\alpha} = 3 \times \frac{R\alpha}{\delta^2} \times Ie^2 \times \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i \times (1+i)^n} \times (8760 \times cp) \right] \quad (2.15)$$

$$\delta = \frac{Ie}{Ie'} \quad (2.16)$$

onde  $\delta$  corresponde ao fator de perdas,  $\alpha$  representa a secção do cabo,  $R$  a resistência do cabo,  $Ie$  é o valor máximo do diagrama de correntes,  $Ie'$  é o valor médio quadrático do diagrama de correntes,  $i$  é taxa de atualização de juro,  $n$  é o número de anos de duração da instalação e  $cp$  é o custo do W.h. O custo total é obtido pela soma das duas parcelas apresentadas (2.14 e 2.15) anteriormente:

$$Custo\ total\ \alpha = Ci_{\alpha} + Ce_{\alpha} \quad (2.17)$$

É, deste modo, possível comparar custos totais de diferentes cabos para as mesmas condições de exploração da instalação e retirar conclusões sobre qual a melhor opção a considerar.



## Capítulo 3

# Aplicação de Apoio ao Projeto das RDBT's

### 3.1 - Introdução

O objetivo da metodologia da aplicação de apoio ao projeto das RDBT's é obter resultados que possam ajudar o projetista no momento de decidir sobre a localização dos vários equipamentos das RDBT's. Como existem inúmeras configurações de rede possíveis, torna-se impraticável num único estudo definir qual a melhor para cada situação. As diferentes decisões tomadas por parte de quem planeia a rede resultam obviamente em diferentes soluções que terão que ser avaliadas do ponto de vista técnico e económico.

Torna-se necessário que exista uma aplicação de auxílio no planeamento, para que no momento de decisão, existam dados que permitam estudar alternativas à solução inicialmente considerada. No caso de redes com dimensões consideráveis esta aplicação torna-se ainda mais útil, visto que de uma forma simples é possível explorar várias soluções obtendo-se uma enorme variedade de resultados para posterior análise.

### 3.2 - Ferramenta de suporte à aplicação

Antes do início da construção da aplicação foi necessário pensar qual a ferramenta que poderia satisfazer as necessidades da mesma. No dimensionamento das RDBT's são várias as decisões a serem tomadas pelo projetista, desde a escolha do número de PT's e respetivas potências e localização dos mesmos até à escolha da localização dos AD's, dos cabos a usar nas canalizações elétricas e respetivos aparelhos de proteção.

Como todas estas opções apresentam uma relação direta entre si, seria necessário usar uma ferramenta que pudesse relacionar todos estes valores de uma forma simples e automática. Chegou-se à conclusão que a ferramenta "*Microsoft Office Excel*" satisfazia por completo as necessidades da aplicação.

### 3.3 - Construção da aplicação

A criação da aplicação tem como objetivo simplificar todos os passos necessários para o dimensionamento das RDBT's, obtendo de forma automática resultados necessários à tomada de decisão por parte do utilizador, considerando aspetos técnicos e económicos.

As etapas necessárias ao projeto das RDBT's são aqui novamente enunciadas:

- Definição do número de instalações de utilização e seu destino; atribuição de potências máximas admissíveis a cada uma delas;
- Definição do número de ramais;
- Cálculo da potência requisitada da urbanização;
- Divisão da urbanização em áreas de influência de cada PT;
- Implantação dos PT's tendo em conta, por um lado, a MT já existente, por outro, a proximidade com as cargas BT e, por outro, ainda, restrições várias como facilidade de acessos, proximidade com vias públicas, etc;
- Cálculo dos centros de cargas dos PT's e, eventual, ajuste das localizações de acordo com o enunciado na etapa anterior;
- Para todos os PT's, definir o número de saídas, com base na potência estipulada do mesmo;
- Para todos os PT's, subdividir da parte da urbanização que ele alimenta, em áreas de influência por cada saída (canalização principal), procurando equilíbrio de potências e/ou de comprimentos entre as várias Saídas;
- Dimensionamento da rede (canalizações Principais e, se for o caso, Ramais): secções dos cabos; calibres dos fusíveis; poder de corte dos fusíveis;

Torna-se assim necessário que cada uma das etapas descritas esteja presente na aplicação. De seguida é apresentada a forma como cada etapa foi implementada. De salientar que para certas etapas supracitadas não será necessário a sua implementação, visto que existem etapas pré-definidas na aplicação.

#### 3.3.1 - Definição do número de instalações de utilização e seu destino e atribuição de potências máximas admissíveis a cada uma delas.

Foi criado um formulário, onde será introduzida toda a informação das potências a alimentar. A informação a ser introduzida será a seguinte:

- **Designação da instalação:** terá de ser atribuído um número ou uma letra, de forma a poder identificar a instalação;
- **Potência da instalação:** será introduzida a potência contratada para a instalação.
- **Coordenadas da instalação:** é necessário fornecer as coordenadas da instalação para posteriores cálculos de centro de carga do PT e do AD, obtendo-se assim também de forma automática os tamanhos de cabos.
- **Número de habitações, serviços comuns e edifícios comerciais:** para cada instalação é necessário fornecer estes dados, pois os fatores de simultaneidade serão calculados com base nestes valores.

- **Potência total de habitações, serviços comuns e edifícios comerciais:** estes valores serão posteriormente multiplicados pelos fatores de simultaneidade para se chegar à potência da urbanização.

### **3.3.2 - Cálculo da Potência Requisitada da Urbanização.**

Os dados de entrada anteriormente descritos serão devidamente guardados na aplicação e posteriormente utilizados, de modo a calcular a potência requisitada da urbanização. Para isso foi necessário atribuir a uma célula a soma de todas as potências multiplicadas pelos respetivos fatores de simultaneidade.

### **3.3.3 - Definição do número de PT's e primeira estimativa das potências estipuladas dos mesmos.**

Para facilitar a definição do número de PT's e respetiva potência estipulada, foi criado um quadro que resume os dados da urbanização. Estes valores são atualizados automaticamente à medida que os dados são inseridos pelo utilizador. Nesta etapa foi necessário apresentar numa célula as potências dos PT's normalizados, para o utilizador poder definir o nº de PT's e respetivas potências. Além d ser necessário que a soma da potência dos PT's seja superior à potência calculada no quadro anterior, existindo uma célula que indica a validação de tal condição, é também necessário para boas condições de funcionamento e de segurança das RDBT's que esse valor de potência total possua uma margem de reserva. Foi alocada numa célula, uma equação que indica perante a escolha do utilizador, qual o valor percentual de reserva existente.

### **3.3.4 - Divisão da urbanização em áreas de influência de cada PT.**

A divisão da urbanização em áreas de influência de cada PT, deverá ser feita de acordo com as potências dos PT's. Foi criado um gráfico com a localização geográfica das cargas, para a divisão a ser realizada pelo projetista se tornar mais simples. É possível através das caixas de combinação que se encontram ao lado do gráfico selecionar as cargas que se pretende alimentar por um dos PT's. Este valor de carga total é apresentado numa célula que se encontra abaixo das caixas de combinação referidas. A esse valor corresponde um valor percentual de carga total, que terá que ser igualado ao valor percentual de carga que esse PT terá que fornecer.

**3.3.5 - Implantação dos PT's tendo em conta, por um lado, a rede Média Tensão (MT) já existente, por outro, a proximidade com as cargas BT e, por outro, ainda, restrições várias como facilidade de acessos, proximidade com vias públicas, etc. Cálculo dos Centros de Cargas dos PT's e, eventual, ajuste das localizações de acordo com o enunciado na etapa anterior.**

Perante a escolha do utilizador relativamente às cargas que serão alimentadas pelo PT, será calculado de forma automática o centro de carga do PT. Existem assim duas células distintas que fazem a soma de todas as multiplicações da potência pela coordenada x e y, dividindo no final pela potência total alimentar pelo PT. É apresentada em células diferentes, a coordenada x e a coordenada y do centro de carga do PT.

Existe, porém situações em que este centro de carga ficará localizado no meio de uma via pública ou mesmo num local onde já existem instalações de utilização, sendo necessário encontrar uma nova localização para o PT. Esta deve ser o mais próximo possível do centro de carga anteriormente encontrado. Existem duas células onde se poderá introduzir a nova localização do PT, caso seja necessário. Abaixo das duas soluções possíveis para localização do PT, existe uma caixa de combinação para o utilizador definir qual a localização do PT que irá ser utilizada.

### **3.3.6 - Definição do número de saídas para cada PT, com base na Potência Estipulada do mesmo.**

Depois de definida a potência estipulada do PT, é necessária definir o número de saídas do mesmo. Esta será uma opção que ficará à escolha do utilizador. Ao ser escolhido o número de saídas, é fornecido pela aplicação de forma automática a potência por saída.

### **3.3.7 - Para cada PT, subdivisão da parte da urbanização que ele alimenta, em áreas de influência por cada Saída (Canalização Principal), procurando equilíbrio de potências e/ou de comprimentos entre as várias Saídas.**

É recomendado nesta etapa do projeto que exista um equilíbrio de potências entre as saídas, isto é, será uma boa prática de engenharia que cada saída do PT alimente aproximadamente a mesma potência que as restantes. Esta etapa do projeto foi implementada na aplicação através de duas ferramentas complementares:

- **Representação geográfica de todas as potências da urbanização:** foi desenvolvido um gráfico de dispersão, sendo os eixos x e y, as coordenadas x e y das potências respetivamente, onde são apresentadas todas as potências a alimentar pelo PT. De forma a fornecer uma melhor perspectiva da rede ao utilizador, foram criados níveis de potência para as cargas estando estes níveis representados por cores distintas. Torna-se assim simples para o utilizador fazer uma divisão equilibrada das potências pelas saídas do PT, baseando-se nos níveis de potência das cargas. Foram ainda criadas caixas de combinação abaixo do gráfico que permitem selecionar quais as cargas que queremos alimentar, sendo demonstradas no gráfico quais as cargas que estamos a selecionar. De salientar que ao fazer a escolha das potências a alimentar nas caixas de combinação estas serão automaticamente guardadas para o posterior cálculo dos comprimentos das canalizações.



- **Grelha de auxílio:** é atualizada de forma automática a potência a alimentar pela saída à medida que vão sendo selecionadas as potências através das caixas de combinação. Os elementos presentes na tabela são os seguintes:
  - **Saída:** designação da saída;
  - **Cargas a alimentar:** definição das cargas alimentar pela respetiva saída;
  - **Nº de HAB, Nº de SC, Nº de EC, Potência de HAB, Potência de SC, Potência de EC, Fator de simultaneidade de HAB, Fator de simultaneidade de SC, Fator de simultaneidade de SC, Potência total:** elementos que são todos calculados de forma automática, isto é, à medida que são selecionadas as potências, as células dos elementos referidos anteriormente são atualizadas.
  - **Valor percentual por saída (% por saída):** Este valor refere-se ao valor percentual de potência que cada saída está a alimentar. Foram criados limites mínimos e máximos deste valor percentual baseado no número de saídas. Por exemplo, depois de o utilizador definir seis saídas para um PT, considerando que uma destas ficará como reserva, restam cinco saídas, que deverão alimentar cada uma delas 20% da carga a ser alimentada pelo respetivo PT. Para ser possível obter exatamente o valor referido anteriormente, é necessário que as potências a serem alimentadas pelas diferentes saídas do PT sejam exatamente iguais, o que é praticamente impossível. Por este motivo, os limites criados apenas para fins indicativos são os seguintes: 5% abaixo do valor encontrado para o limite mínimo e 5% acima do valor encontrado para o limite máximo. As células que devolvem a percentagem estarão formatadas condicionalmente com cores, apresentando cor verde se os limites estiverem dentro do recomendado ou a vermelho caso isso não aconteça.

### 3.3.8 - Dimensionamento da rede (Canalizações Principais e, se for o caso, Ramais): secções dos cabos; calibres dos fusíveis; poder de corte dos fusíveis.

Relativamente a esta etapa do projeto foram implementadas várias relações entre os diversos elementos necessários ao dimensionamento. Inicialmente foi necessário pensar numa forma de o utilizador através do uso exclusivo da aplicação conseguir fazer o dimensionamento da rede sem necessitar de recorrer a tabelas ou a outros documentos de consulta habitualmente utilizados. Foram assim criadas algumas ferramentas auxiliares para que a aplicação resolvesse o problema de dimensionamento de forma autónoma.

#### Tabelas

Optou-se por criar todas as tabelas necessárias ao dimensionamento das RDBT's sendo estas as seguintes [10]:

- Temperaturas máximas a considerar para os Materiais Isolantes;
- Coeficientes de correção da resistência com a temperatura;

- Resistividade e coeficiente de termoresistividade;
- Resistência linear máxima das almas condutoras;
- Reatância linear dos cabos;
- Correntes estipuladas de fusíveis;
- Coeficiente K a usar na expressão do tempo de fadiga térmica;
- Intensidades de correntes máximas admissíveis dos cabos;
- Fatores de correção;

Para facilitar o raciocínio computacional optou-se por organizar estas tabelas de forma diferente á qual estão dispostas nos documentos regulamentares. Foi criada uma tabela com os cabos usualmente utilizados nas RDBT's, estando associado a cada um deles todas as características necessárias para dimensionamento. Foram ainda criadas tabelas com preços de cabos, tubos, fusíveis, PT's, AD's, câmaras de visita e ainda preços para mão de obra, de forma a realizar um estudo orçamental das opções tomadas pelo utilizador.

### **Fusíveis**

Relativamente aos tempos de atuação dos fusíveis para uma determinada corrente de curto circuito (CC), foi necessário transformar as curvas características dos fusíveis em vários segmentos de reta, para que através da equação da reta fosse possível obter o tempo de atuação, conhecendo a respetiva corrente de curto circuito. Foi necessário recorrer à interpolação. Fez-se uma linearização da curva característica de cada fusível optando-se por dividir a curva em sete retas de forma a reduzir ao máximo o erro que a linearização poderia provocar. Depois de obtidos os pontos de início e fim da reta, obteve-se o declive e por fim o elemento "b". Este processo foi realizado para 13 diferentes calibres de fusíveis.

### **Secção Económica**

Para cada canalização elétrica, terá que ser escolhido um cabo que verifique todas as condições técnicas impostas pelos regulamentos. Este cabo, se nos guiarmos exclusivamente por questões técnicas, será aquele que respeitando as condições referidas anteriormente apresenta a menor secção possível. Pretende-se que a aplicação seja capaz de indicar de forma automática qual a secção económica de acordo com as condições da instalação elétrica.

A secção económica dependerá dos seguintes aspetos: corrente de serviço, comprimento do cabo, número de anos de duração da instalação, taxa de atualização de juro, custo da energia, tipo de alimentação (monofásica ou trifásica), diagrama de cargas diário, e ainda do preço e resistência dos cabos.

De forma a relacionar todos estes valores construiu-se uma tabela onde estão inseridos todos os cabos considerados para o dimensionamento, estando a cada um deles associados valores de custo inicial e custo de exploração para as mesmas condições de funcionamento da instalação. Foram inseridas nas células que indicam os custos, as expressões de cada um deles que são automaticamente atualizados à medida que o utilizador vai realizando as escolhas na tabela de dimensionamento. Existe ainda uma linha na tabela que irá somar estes dois custos obtendo-se os valores totais do custo para os diferentes cabos.

Considerando constante o preço e resistência do cabo, assim como o diagrama de cargas e o custo de energia para as diferentes canalizações, percebe-se que iremos obter diferentes soluções variando o comprimento do cabo, a corrente de serviço, o número de anos da instalação, a taxa de atualização e o tipo de alimentação.

### **Comprimento dos Cabos**

Uma das condições fundamentais para realizar o dimensionamento da rede é o conhecimento dos comprimentos das canalizações, pois estes terão uma relação direta com as condições que terão de ser satisfeitas.

A obtenção do valor do comprimento do cabo a usar é um passo muito importante nesta etapa e foi necessário desenvolver uma solução para obter esse valor de forma automática para evitar as repetidas medições que são habitualmente realizadas. A título de exemplo para uma urbanização com 100 instalações de utilização, teriam que ser realizadas 100 medições para obter os comprimentos das canalizações elétricas, referente aos 100 ramais necessários, juntando-se ainda os comprimentos das canalizações principais.

O método usado consiste no uso das coordenadas de cada instalação inicialmente inseridas pelo utilizador, para obter os comprimentos das canalizações. Relativamente a este método, surgiu imediatamente uma dúvida: a distância entre PT's e AD's e entre AD's e portinhola, QC ou aparelho e corte de entrada de uma instalação de utilização é exatamente o comprimento real do cabo? A resposta é simples. Na verdade na grande maioria dos casos não é, pois as canalizações terão que ser instalados em função da estrutura da urbanização. Os cabos terão que ser enterrados ao longo dos passeios e nos casos de travessias estas terão que ser perpendiculares aos passeios. Não existirão canalizações diagonais na urbanização, o que fará com que os comprimentos dos cabos entre pontos sejam na maior parte das situações maior que a real distância entre pontos. Pensou-se numa forma de contornar o problema. Como as coordenadas são fornecidas relativamente aos dois eixos, somando as diferenças entre dois pontos em relação aos diferentes eixos obtemos o comprimento real do cabo e não a distância real entre os pontos. É de salientar que estes valores obtidos de comprimento do cabo são valores bastante aproximados na maioria dos casos, mas que poderão ser um pouco diferentes no caso de algumas urbanizações com algumas particularidades na sua estrutura. Mais uma vez surge o problema do traçado das canalizações que está dependente dos obstáculos da urbanização.

Para este tipo de situações sugere-se que o utilizador insira diretamente o comprimento do cabo, para o referido valor se tornar o mais aproximado possível, de forma a evitar erros no dimensionamento. Esses valores devem ser medidos com o programa de desenho aconselhado para este tipo de situações, o "AUTOCAD".

Mais uma vez relembra-se que os comprimentos das canalizações são automaticamente disponibilizados na aplicação, a partir do momento em que o utilizador escolhe as potências que pretende alimentar através das caixas de combinação localizadas abaixo do gráfico referido anteriormente.

### **Armários de Distribuição**

Os AD's fazem a ligação entre canalizações principais e ramais e o seu posicionamento deverá se situar nos passeios, junto das cargas a alimentar, ou no caso de inexistência de

passeios, deverá ficar o mais junto possível das instalações não impedindo o bom funcionamento da via pública. De forma a fazer-se um estudo sobre a sua localização foram definidas três formas de posicioná-lo em relação às cargas alimentar:

- 1ª solução - AD junto da carga mais próxima (daquelas que o AD irá alimentar) do PT ou junto do AD a montante no caso do AD em questão não ser o primeiro da respetiva saída, designando-se esta opção na aplicação como “AD junto PT”;
- 2ª solução - AD junto da carga mais afastada (daquelas que o AD irá alimentar) do PT ou afastada do AD a montante no caso do AD em questão não ser o primeiro da respetiva saída, designando-se esta opção na aplicação como “AD afastado PT”;
- 3ª solução - AD no centro de carga dos ramais, isto é, tal como se calculou o centro de carga do PT é calculado também um centro de carga para o AD referente às cargas que este irá alimentar, designando-se esta opção na aplicação como “Centro de carga do AD”;

Relativamente a esta etapa foi necessário fazer com que a aplicação respondesse de forma automática às diferentes escolhas do posicionamento do AD e calculasse de forma imediata não só os comprimentos das canalizações principais bem como o comprimento dos ramais. Este processo foi implementado de forma simples através de caixas de combinação, onde são apresentadas as opções anteriormente descritas para cada armário. Os comprimentos dos cabos são atualizados através da fórmula “Índice” presente no programa “Microsoft Office Excel” que relaciona cada uma das opções selecionadas com as células onde estão alocados os diferentes comprimentos de cabos referentes a cada uma das opções.

As coordenadas de localização dos armários são obtidas de duas formas diferentes:

- No caso da 1ª e 2ª solução estas correspondem às coordenadas das cargas das quais o AD se encontra junto.
- Relativamente à 3ª opção é calculado um centro de carga, isto é são multiplicadas todas as cargas pelas respetivas coordenadas x e y, sendo posteriormente divididas pela potência total que o AD alimentará.

De referir que nos casos em que o AD fica junto de uma instalação, e consequentemente com as mesmas coordenadas desta, o comprimento do ramal que alimenta essa mesma instalação seria zero, o que na prática não acontece, visto que existe um cabo que faz a ligação entre o AD e a instalação. Para contornar essa situação é adicionado ao comprimento da canalização 1 metro.

### **Tabela de Dimensionamento**

Depois de serem definidas as cargas a serem alimentadas pelo AD é o momento de realizar o dimensionamento. Criou-se uma tabela, onde estão presentes todos os elementos necessários, estando estes diretamente relacionados entre si. Tal como já tinha sido descrito

no capítulo 2, esta etapa do projeto consiste na escolha do cabo a usar e sua secção assim como a proteção do mesmo. Relativamente ao comprimento do cabo, este será fornecido automaticamente de acordo com o posicionamento do AD, processo que já foi explicado anteriormente. A presente tabela está diretamente relacionada com a tabela auxiliar de cálculo de comprimento das canalizações, isto é, quando se procede à escolha dos ramais na etapa anterior, estes são automaticamente inseridos na tabela de dimensionamento de forma a simplificar este processo.

Todas as características dos ramais selecionados são automaticamente inseridas na tabela (Nº de HAB, Nº de SC, Nº de EC, Potência de HAB, Potência de SC, Potência de EC, Fator de simultaneidade de HAB, Fator de simultaneidade de SC, Fator de simultaneidade de SC, Potência total).

Foram criadas nesta tabela caixas de combinação que permitem ao utilizador fazer determinadas escolhas:

- **Designação da canalização:** poderá optar por designar como canalização principal ou como ramal;
- **Fim da canalização:** Estando o início da canalização pré-definido cabe ao utilizador escolher qual a instalação que quer alimentar. Será dimensionada a canalização que fará a ligação entre esses dois pontos. Resta acrescentar que as opções apresentadas na caixa de combinação são referentes aos ramais que se pretende alimentar com o AD anteriormente escolhido;
- **Corrente de serviço (Ib):** Para obter a corrente de serviço, fundamental para o dimensionamento da canalização, é necessário indicar que tipo de alimentação será realizada, monofásica ou trifásica. O utilizador terá de escolher uma das duas opções, sendo o valor da corrente automaticamente encontrado;
- **Cabo:** são apresentados vários cabos com variadas secções para o utilizador escolher. Quando o utilizador escolhe o cabo será demonstrado nas colunas imediatamente à direita todas as características do cabo escolhido, sendo estas as seguintes:
  - Secção de fase e de neutro;
  - Resistência linear da fase e do neutro;
  - Temperatura máxima de funcionamento e de curto-circuito;
  - Corrente máxima admissível;
  - Constante K;
- **Temperatura máxima de funcionamento e de curto circuito:** tal como acabou de ser descrito ao escolhermos um cabo são apresentadas estas duas temperaturas, sendo necessário corrigir as resistências dos cabos com estas temperaturas apresentadas.
- **Localização do AD:** Nesta caixa de combinação o utilizador, no caso de ser uma canalização principal, irá definir onde ficará localizado o AD, podendo optar pelas três opções referidas anteriormente. Tratando-se de um ramal o utilizador não terá que fazer qualquer escolha visto que o comprimento da canalização dependerá apenas da localização do AD escolhida. Estas escolhas servem única e exclusivamente para obter os comprimentos das canalizações.

- **Fatores de correção:** foram criadas três caixas de combinação para três fatores de correção. O utilizador terá que escolher para cada situação quais as condições de estabelecimento em que se encontra o cabo:
  - Cabo entubado;
  - Profundidade;
  - Número de sistemas trifásicos enterrados na mesma vala.

A estas opções estão associados valores que serão multiplicados pela corrente máxima admissível do cabo [8].

- **Calibre da proteção:** serão apresentados todos os valores dos fusíveis disponíveis.

Falta apenas falar sobre de que forma foram implementadas as condições que terão de ser verificadas para cada canalização:

- **Condição de proteção contra sobrecargas:** as expressões 2.5 e 2.6 foram inseridas em duas células distintas. Numa outra célula foi inserida a função “SE” que verifica se as duas condições anteriores se verificam. O resultado devolvido pela célula será “SIM” no caso das condições se verificarem ou “NÃO” no caso de alguma das condições não se verificar.
- **Condição de proteção contra curto-circuito:** foi inserida na célula correspondente a presente condição, a corrente de curto circuito usando a expressão 2.10, sendo depois inserido numa outra célula o tempo de fadiga térmica através da expressão 2.9. Por fim é obtido o tempo de atuação dos fusíveis para a corrente de curto-circuito calculado, através do processo auxiliar que já foi explicado anteriormente. O processo de verificação de condições utilizado no caso da condição de proteção contra sobrecargas é novamente repetido neste caso.
- **Condição de queda de tensão:** mais uma vez é inserida numa célula a expressão 2.12, relacionando as células que contêm os elementos necessários ao cálculo da queda de tensão. De salientar que é usada a função “SE”, visto que a expressão da queda de tensão terá um fator multiplicativo 2 no caso de a alimentação ser monofásica. É assim verificada a célula de escolha do tipo de ligação e só depois é aplicada a expressão da queda de tensão. Como já foi referido no capítulo 2 existe regulamentação quanto à queda de tensão máxima admissível numa canalização, logo existiu a necessidade de criar uma condição para verificar essa regra. Caso o valor da queda de tensão exceda os 5% (valor regulamentado para redes de distribuição de baixa tensão em meios urbanos) é apresentada uma célula com a palavra “NÃO” colorida a vermelho e se tal não se verificar é apresentada uma célula com a palavra “SIM” colorida a verde. De salientar que no caso dos ramais a queda de tensão será a soma da referente a esse ramal mais a queda de tensão total existente em toda a canalização principal desde o PT até ao AD que alimenta esse ramal. Esta relação foi implementada na aplicação e o cálculo é assim realizado de forma automática. Por fim são apresentadas na tabela duas colunas que serão valores introduzidos pelo utilizador, referente ao número de anos da instalação e à taxa de atualização, de forma a se obter o valor da secção económica.

### **Valores Orçamentais**

Outra função desta aplicação é, para cada canalização, apresentar a secção económica do cabo a usar para um determinado tipo de condições. Se os custos de investimento inicial e de exploração forem suportados pela mesma entidade, a solução ideal seria realmente adotar estas secções económicas para, assim, diminuir o custo total da instalação. Como tal não acontece na maior parte dos casos, o custo inicial será aquele que terá que ser minimizado, sendo necessário comparar orçamentos de investimento inicial baseado em diferentes soluções técnicas.

De forma a solucionar o que acabou de ser referido no parágrafo anterior, foi criado um quadro de avaliação de soluções sob o ponto de vista económico, que irá calcular os custos associados aos AD's e às canalizações que derivam destes, estando assim inseridos os seguintes custos relativamente ao custo inicial: custo total de cabo, custo da proteção, custo total de abertura de vala, custo do AD, custo da câmara de visita e custo do tubo. No fim deste quadro é apresentado o custo total de cada saída, apresentando também custos totais iniciais e custos totais de exploração, não estando incluído apenas o custo do PT.

Foram criados dois botões de forma a guardar a solução pretendida com o orçamento associado. É assim permitido ao utilizador guardar várias soluções e compará-las posteriormente.

### **Utilidade da aplicação**

Para se perceber a utilidade da aplicação está presente no anexo C um conjunto de casos particulares que foram analisados a partir da utilização da aplicação.





## Capítulo 4

### Caso de Estudo: Análise de Soluções

#### 4.1 - Introdução

Utilizando a aplicação descrita no capítulo anterior e abordando um caso de estudo foram testadas várias soluções de forma a obter pressupostos de auxílio ao projetista. Todos os passos que serão descritos foram realizados utilizando apenas a aplicação de apoio ao projeto das RDBT's.

#### 4.2 - Caracterização da Urbanização (Caso de Estudo)

A urbanização é constituída por:

- Três lotes de blocos de apartamentos destinados à habitação e comércio;
- Seis lotes de moradias destinadas à habitação;
- Um lote destinado a comércio;



Figura 4.1 - Planta da urbanização.

Características das instalações de utilização da urbanização:

- As instalações de 1 a 28 são moradias T4
- As instalações de 29 a 118 são moradias T3

A instalação 119 é caracterizada por ter nove blocos constituídos por seis andares com dois T4 por andar. É constituído ainda por quatro garagens independentes divididas da seguinte forma:

- 119I+119H+119G;
- 119F+119E;
- 119D+ 119C;
- 119B+119A;

O Prédio 120 é constituído por cinco andares e oito blocos. Cada bloco tem uma garagem incluída nos serviços comuns e com um T4, um T3 e um T1 por andar.

O Prédio 121 é constituído por seis blocos com oito andares. Nó Rés-do-chão é considerado lojas comerciais duas pequenas e uma grande. Em cada andar é considerado dois T3 e um T2.

O Edifício 122 é constituído por um Minimercado, um infantário e um café/Restaurante.

#### 4.2.1 - Definição de potências para as instalações de utilização

O primeiro passo para o planeamento da RD é a definição das potências para cada uma das instalações de utilização. Os valores escolhidos são os demonstrados na tabela seguinte:

**Tabela 4.1-** Descrição das Potência das Instalações.

Instalação	Tipo ou loteamento	Potência (KVA)
Habitações (Moradias)	T4	13.8
Habitações (Moradias)	T3	10.35
Habitações (Prédios)	T4	10.35
Habitações (Prédios)	T3	10.35
Habitações (Prédios)	T2	6.9
Habitações (Prédios)	T1	6.9
Serviços Comuns (Prédios)	121   120   119	17.25
Garagens	121GABC   121GDEF	20,7
Comercio loja (pequena)	121	5.75
Comercio loja (grande)	121	13.8
Minimercado	122	17.25
Infantário	122	13.8
Café restaurante	122	17.25

De referir que estes valores de potências são os típicos para cada tipo de instalação, mas ficará ao critério do projetista definir valores diferentes consoantes as diferentes condições das instalações de utilização.

Depois de definidos todos os valores das potências, poderemos agora chegar a um valor total de potência da urbanização que será multiplicado pelos fatores de simultaneidade de modo a se obter uma primeira estimativa sobre o número de PT's necessários e respetivas potências.

#### 4.2.2 - Distribuição das cargas por zonas

A urbanização foi distribuída em três zonas pelos três PT'S, (PT1, PT2 e PT3). O PT1 que será o PT que será dimensionado no presente estudo alimenta os edifícios 119A, 119B, 119C, 119D, 119E, 119F, 119G, 119H e 119 e as moradias 1 a 38 e as morarias 57 a 62. Os dois restantes PT's alimentam as restantes cargas, mas visto que não serão dimensionados neste estudo, não será feita a descrição das potências que cada um deles alimenta.

#### 4.2.3 - Definição das saídas

O PT escolhido tem uma potência nominal de 630 KVA e o QGBT possui seis saídas, sendo que uma ficará de reserva. Temos assim cinco saídas que deverão alimentar todas as cargas da zona definida para o PT1. A divisão das potências pelas saídas do PT1 é apresentada na tabela 4.2 .

**Tabela 4.2 - Divisão das Potências pelas respetivas saídas do PT1.**

Saída	AD	Instalação de utilização
Saída 1	1.1	4, 5 e 6
	1.2	1, 2 e 3
	1.3	7, 8, 9 e 10
	1.4	11, 12, 13 e 14
	1.5	15, 16, 17 e 18
	1.6	58, 59 e 60
	1.7	61, 62 e 63
Saída 2	2.1	19, 20, 21 e 22
	2.2	23, 24 e 25
	2.3	26, 27 e 28
	2.4	36, 37 e 38
	2.5	33, 34 e 35
	2.6	29, 30 , 31 e 32
Saída 3	3.1	119A, 119B e 119 C
Saída 4	4.1	119D, 119E e 119F
Saída 5	5.1	119G, 119H e 119I

A figura 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6 ilustram a localização geográfica das potências que cada saída alimenta. De referir que as figuras são retiradas da aplicação desenvolvida e que a linha a vermelho representa a canalização desde o PT até aos respetivos AD's. As potências a serem alimentadas em cada um dos casos estão marcadas com uma cruz (X).

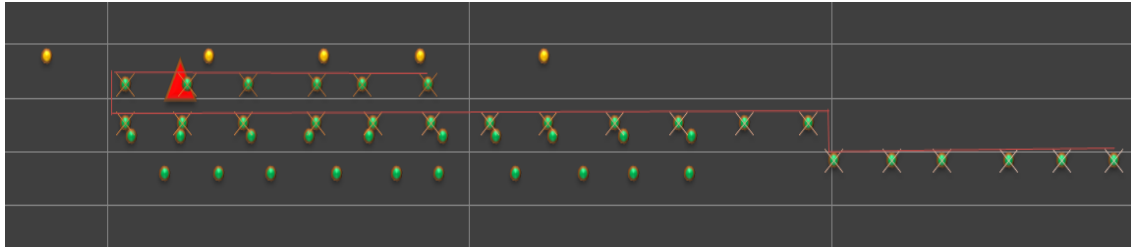


Figura 4.2 - Estrutura da saída 1.

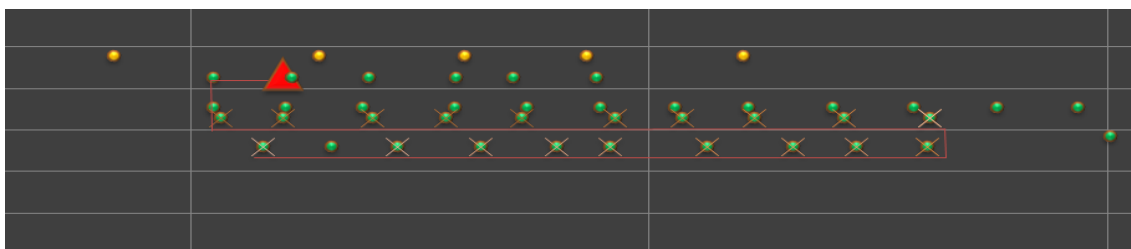


Figura 4.3 - Estrutura da saída 2.

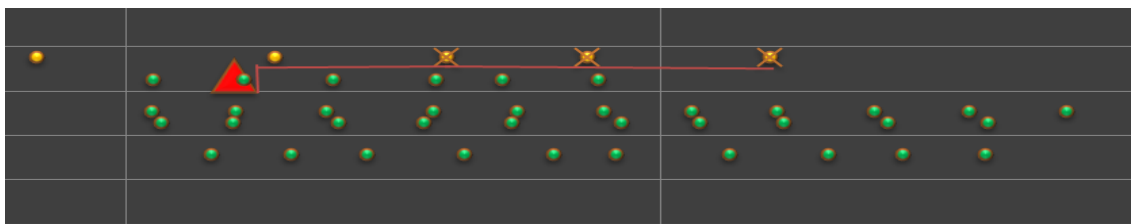


Figura 4.4 - Estrutura da saída 3.



Figura 4.5 - Estrutura da saída 4.

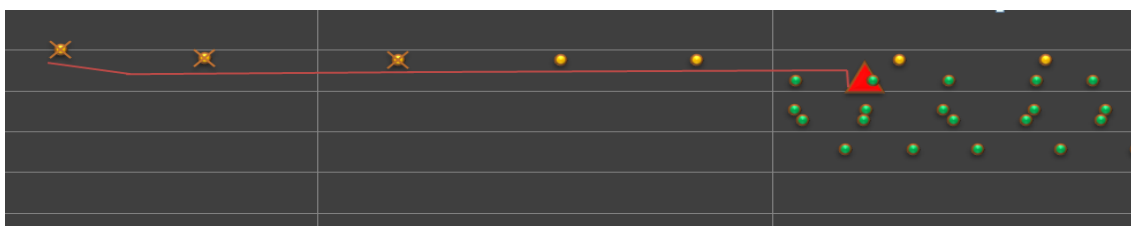


Figura 4.6 - Estrutura da saída 5.

### 4.3 - Análise sob o ponto de vista técnico

Antes de se realizar um estudo económico será necessário verificar que todas as soluções encontradas respeitam as condições técnicas. Estas condições já foram descritas anteriormente e são recapituladas agora:

- Condição de proteção contra sobrecargas;
- Condição de queda de tensão;
- Condição de proteção contra curto-circuitos;

Foram pensadas várias soluções alternativas, todas baseadas em critérios definidos de forma clara, que serão analisadas perante as condições descritas de forma a se obter alguns pressupostos importantes. Os critérios usados foram baseados nas diferentes localizações dos PT's e dos AD's. Foram ainda desenvolvidas soluções alternativas no que diz respeito ao tipo de alimentação por parte dos ramais: monofásica e trifásica. As soluções desenvolvidas são apresentadas de seguida.

Relativamente à localização do PT:

- **PT no centro de carga:** o PT é colocado no centro de carga das potências que alimenta.
- **PT afastado do centro de carga:** o PT é colocado num local afastado do centro de carga das potências que alimenta.

Relativamente à localização do AD:

- **AD no centro de carga:** o AD é colocado no centro de carga das potências que alimenta
- **AD junto do PT ou junto do AD a montante:** alimentando um AD um conjunto de cargas, este ficará junto da carga mais próxima do PT ou do AD que está a montante, se for o caso.
- **AD afastado do PT ou afastado do AD a montante:** alimentando um AD um conjunto de cargas, este ficará junto da carga mais afastada do PT ou do AD que está a montante, se for o caso.

Relativamente ao tipo de alimentação:

- Monofásica
- Trifásica

Nas situações em que o tipo de alimentação poderá ser monofásico ou trifásico (potências até 13,8 KVA) foram testados os dois cenários para todas as soluções enunciadas.

### 4.3.1 - Critérios usados na geração de soluções

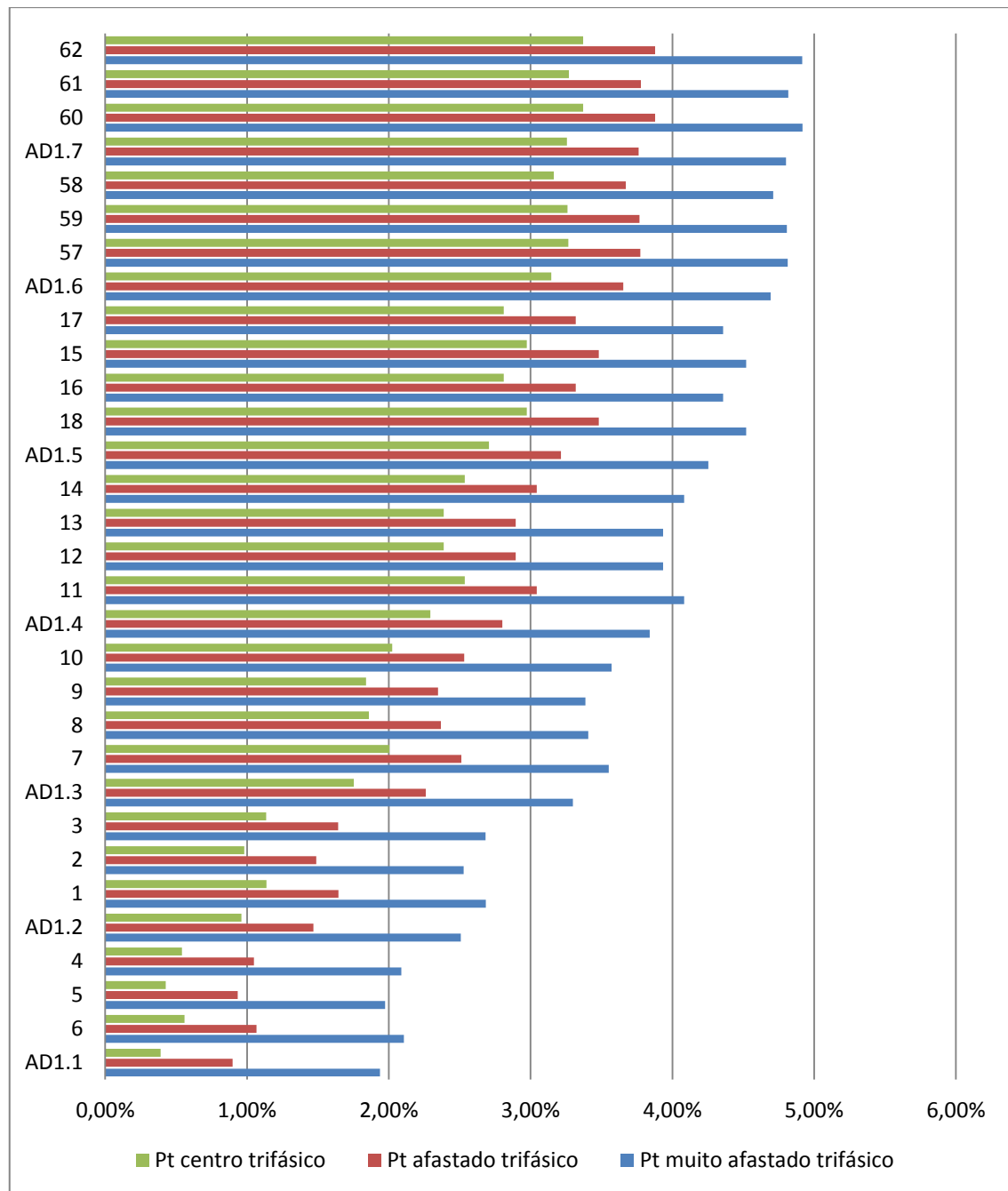
1. Variação da localização do PT com AD's no centro de carga e alimentação trifásica de todas as potências:
  - 1.1 PT colocado num local consideravelmente afastado do centro de carga, sendo as coordenadas as seguintes: (50 m; 300 m);
  - 1.2 PT colocado num local ligeiramente afastado do centro de carga, sendo as coordenadas as seguintes: (130 m; 300 m);
  - 1.3 PT colocado no centro de carga, sendo as coordenadas as seguintes: (160,11 m; 319,93 m);
2. Variação da localização do PT com AD's no centro de carga e alimentação monofásica para as potências até 13,8 KVA:
  - 2.1 PT colocado num local consideravelmente afastado do centro de carga, sendo as coordenadas as seguintes: (50 m; 300 m);
  - 2.2 PT colocado num local ligeiramente afastado do centro de carga, sendo as coordenadas as seguintes: (130 m; 300 m);
  - 2.3 PT colocado no centro de carga, sendo as coordenadas as seguintes: (160,11 m; 319,93 m);
3. PT colocado no centro de carga com várias localizações dos AD's e alimentação trifásica:
  - 3.1 O AD junto do PT ou junto do AD a montante;
  - 3.2 AD afastado do PT ou afastado do AD a montante;
  - 3.3 AD no centro de carga;
4. PT colocado no centro de carga com várias localizações dos AD's e alimentação monofásica para as potências até 13,8 KVA:
  - 4.1 O AD junto do PT ou junto do AD a montante;
  - 4.2 AD afastado do PT ou afastado do AD a montante;
  - 4.3 AD no centro de carga;

### 4.3.2 - Análise de resultados para a Condição de Queda de Tensão

A presente condição diz-nos que a queda de tensão desde o PT até ao ponto de entrega de energia, por exemplo, portinhola, não poderá ser superior a um limite regulamentar.

Antes de serem demonstrados os resultados é pertinente referir que para este primeiro estudo foram apenas utilizados os cabos normalizados pela EDP para RDBT subterrâneas. Relativamente à secção dos cabos escolhidos optou-se por se escolher a menor secção que satisfizesse a condição de protecção contra sobrecargas.

Serão apresentados de seguida vários gráficos com os valores de queda de tensão para as várias instalações de utilização alimentadas pelas diferentes saídas do PT. Para cada gráfico, respeitante a cada uma das soluções enunciadas, é realizada a respetiva análise.



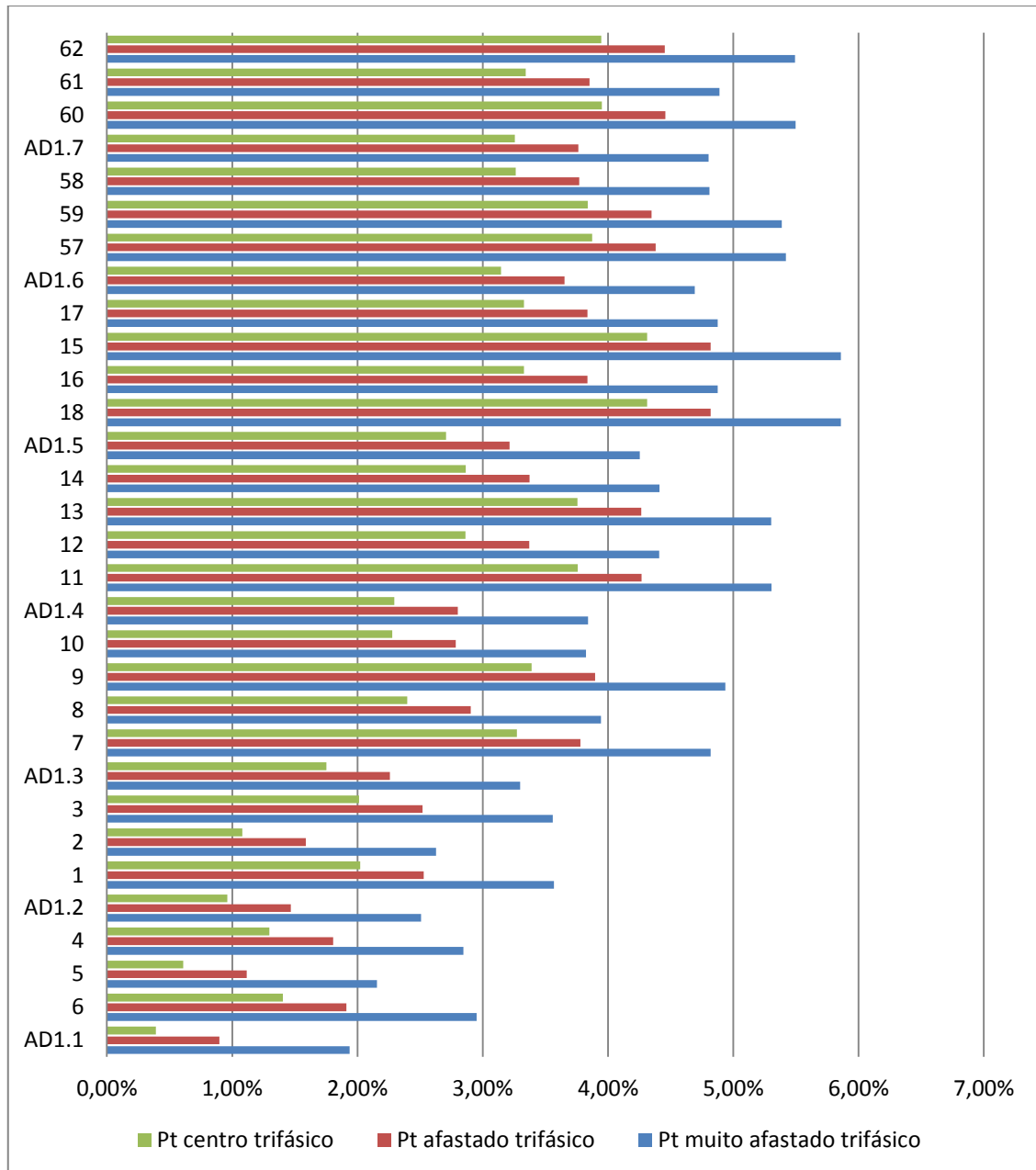
**Figura 4.7** - Valor percentual da queda de tensão da saída 1 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3).

Na figura 4.7 verifica-se que para a saída 1, a queda de tensão atinge valores superiores quando o PT não se encontra no centro de carga da urbanização. É possível constatar que os valores são maiores quando o PT se encontra muito afastado do centro de carga, isto porque apesar da potência a alimentar e das resistências dos cabos usados serem as mesmas, o comprimento dos cabos irá ser superior o que fará com que a queda de tensão seja superior.

É visível através das barras coloridas que a canalização principal que liga o PT ao AD1. 1 apresenta valores bem distintos para as diferentes soluções. É este valor da primeira canalização que provoca os diferentes valores percentuais totais para as restantes canalizações da saída 1, isto porque a jusante do AD1. 1 os valores percentuais da queda de tensão de cada uma das canalização é o mesmo para as 3 soluções. É de salientar, que ao deslocar o PT do centro de carga, poderá existir uma ou outra saída em que a queda de tensão seja inferior à obtida neste caso, visto que o PT ficará mais próximo de determinadas cargas.

Relativamente à solução do PT colocado no centro de carga, verifica-se que esta mantém os valores de queda de tensão relativamente baixos não atingindo os 3,5% mesmo nas cargas mais afastadas. Neste caso, em que alimentação das cargas é trifásica observa-se que a maior percentagem de queda de tensão deve-se à canalização principal. Tal fato deve-se a uma maior corrente a percorrer na canalização principal, quando comparado com a corrente a percorrer em cada um dos ramais.



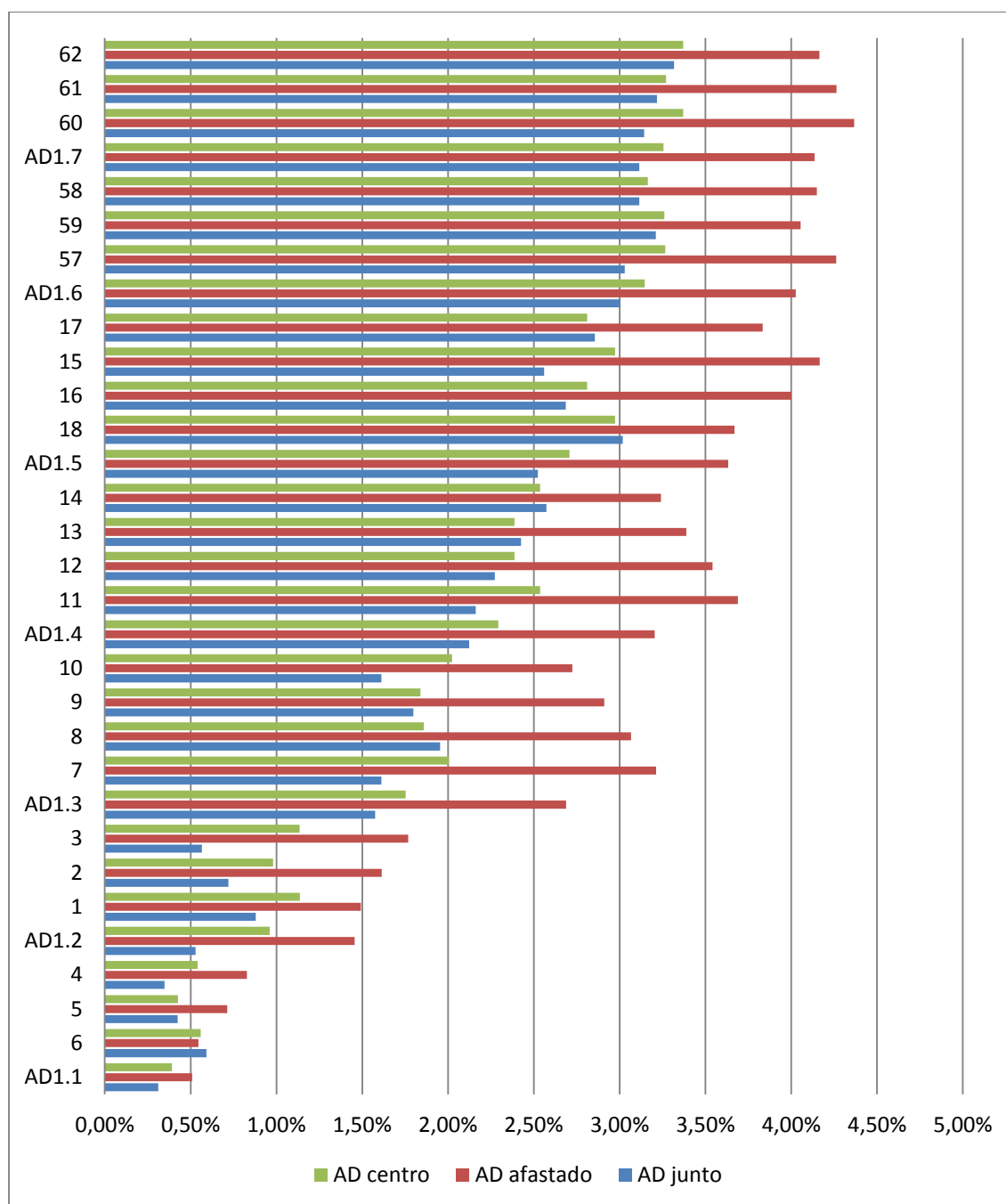


**Figura 4.8** - Valor percentual da queda de tensão da saída 1 (soluções 2.1, 2.2 e 2.3).

A figura 4.8 mostra a queda de tensão para a saída 1, neste com caso com alimentação monofásica de todas as cargas. Constata-se numa primeira análise que a queda de tensão é superior para todas as opções de localização do PT. Para a solução de colocação do PT muito afastado do centro de carga da urbanização, os valores de queda de tensão ultrapassam agora o limite regulamentar de queda de tensão para redes subterrâneas em meios urbanos (5%).

Sendo regulamentado que as canalizações principais devem ser trifásicas, não é possível que estas fossem alteradas relativamente ao caso anterior, e, portanto estas não apresentam diferenças no que diz respeito à queda de tensão relativamente à solução anterior. O aumento percentual da queda de tensão neste caso deve-se única e exclusivamente aos ramais que são agora monofásicos. Recorde-se que para o caso de alimentação monofásica a queda de tensão num ramal é seis vezes superior à queda de tensão num ramal trifásico. Isto

porque a expressão da queda de tensão para o caso de alimentação monofásica contém um fator multiplicativo 2, e a corrente de serviço no caso da alimentação monofásica é três vezes superior.



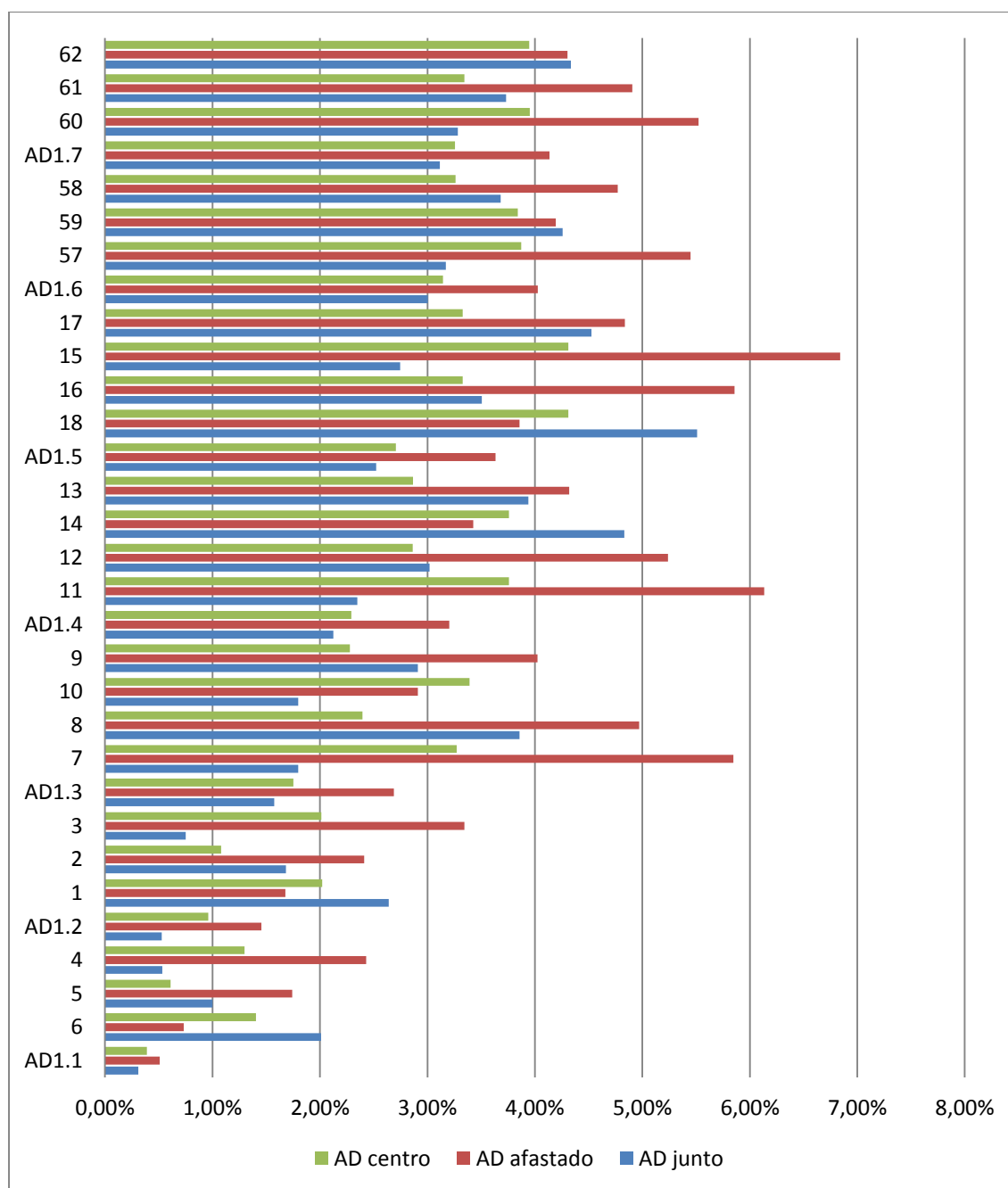
**Figura 4.9** - Valor percentual da queda de tensão da saída 1 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3).

Na figura 4.9 é demonstrada a queda de tensão de cada uma das canalizações da saída 1 consoante a localização dos AD's. Relativamente à opção de colocar o AD afastado do PT ou afastado do AD a montante verifica-se que esta é a solução que apresenta maiores valores percentuais para todas as canalizações. Este fato deve-se ao comprimento das canalizações principais, visto que nesta solução serão maiores do que nas outras duas soluções

apresentadas para localizações de AD's. Apesar disso, para esta solução, existem valores de queda de tensão para determinados ramais inferiores aos valores das outras duas soluções, mas pelo fato da queda de tensão ser contabilizada desde o PT até ao ponto de entrega de energia, nesse mesmo ponto a queda de tensão é superior devido ao valor percentual das canalizações principais.

Analisando as duas outras soluções para localização de AD's verifica-se que neste caso a solução de colocar o AD colocado junto do PT ou junto do AD a montante apresenta melhores resultados ainda que não muito significativos. Existem mesmo situações como é o caso da instalação "6" em que a queda de tensão é superior para essa solução quando comparada com a solução de colocar o AD no centro de carga das potências a alimentar. Na verdade ao colocarmos o AD no centro de carga das potências a alimentar por esse armário, estamos a diminuir o tamanho total de todos os ramais que derivam desse AD. Ao optarmos pela outra solução, estamos a diminuir o comprimento da canalização principal, mas o comprimento total dos ramais alimentados pelo AD será superior ao comprimento total dos mesmos na solução anterior.

Pode-se concluir que apesar de obtermos uma melhor solução para este caso, esta pode não o ser para outra urbanização com outras características. Tudo dependerá da estrutura da RD e da distribuição geográfica das cargas. Provavelmente o uso de ambas as soluções no dimensionamento de uma saída do PT poderá ser a melhor opção. Relativamente à solução de colocar o AD afastado do PT ou afastado do AD a montante esta parece à primeira vista uma solução a descartar, apesar de poder existir situações em que esta se adegue.



**Figura 4.10** - Valor percentual da queda de tensão da saída 1 (soluções 4.1, 4.2 e 4.3).

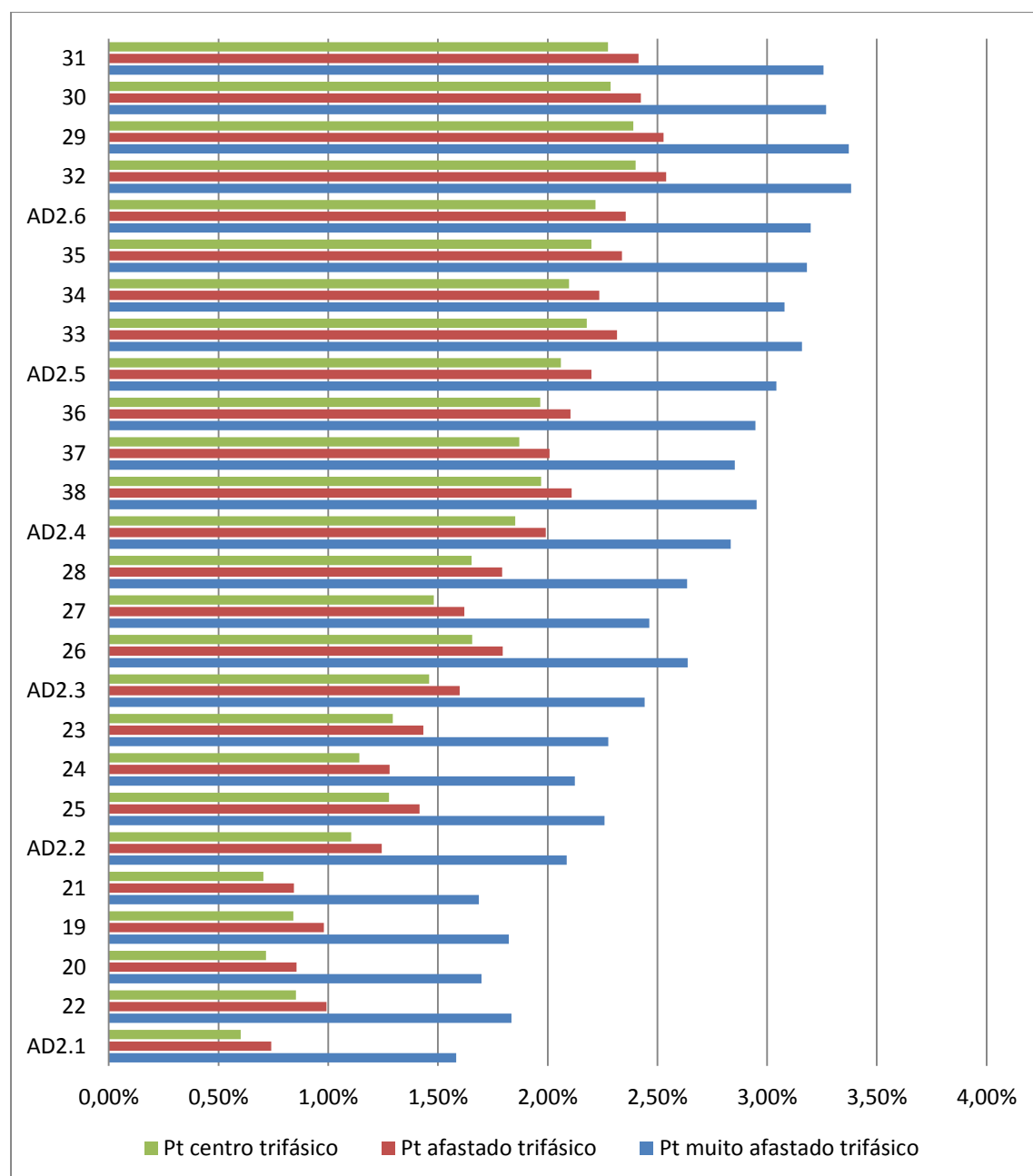
A figura 4.10 mostra a queda de tensão da saída 1, sendo que o tipo de alimentação das cargas é agora monofásica, que tal como já foi referido anteriormente, provoca o aumento da queda de tensão nos ramais em seis vezes quando comparado com a alimentação trifásica.

Como a canalização principal é trifásica neste aspeto não existem alterações, sendo apenas os ramais que apresentam valores diferentes. A solução de colocar o AD junto do PT ou junto do AD a montante apresenta menores comprimentos para canalizações principais, mas aumenta o comprimento total dos ramais comparativamente à solução de colocar o AD no centro de carga das potências a alimentar. A solução descrita apresenta ainda em todos os casos o ramal com maior comprimento, visto que ao o AD ficar junto da carga mais próxima do PT ou junto do AD a montante existirá um ramal que derivará desse AD até à carga mais

afastada alimentada pelo mesmo AD. O acabou de ser descrito juntamente com o fato de esse ramal ser monofásico, como é o caso, provoca um grande aumento de queda de tensão nesse ramal como é o caso dos ramais “6”, “1”, “8”, “14”, “18”, “59”, “62”.

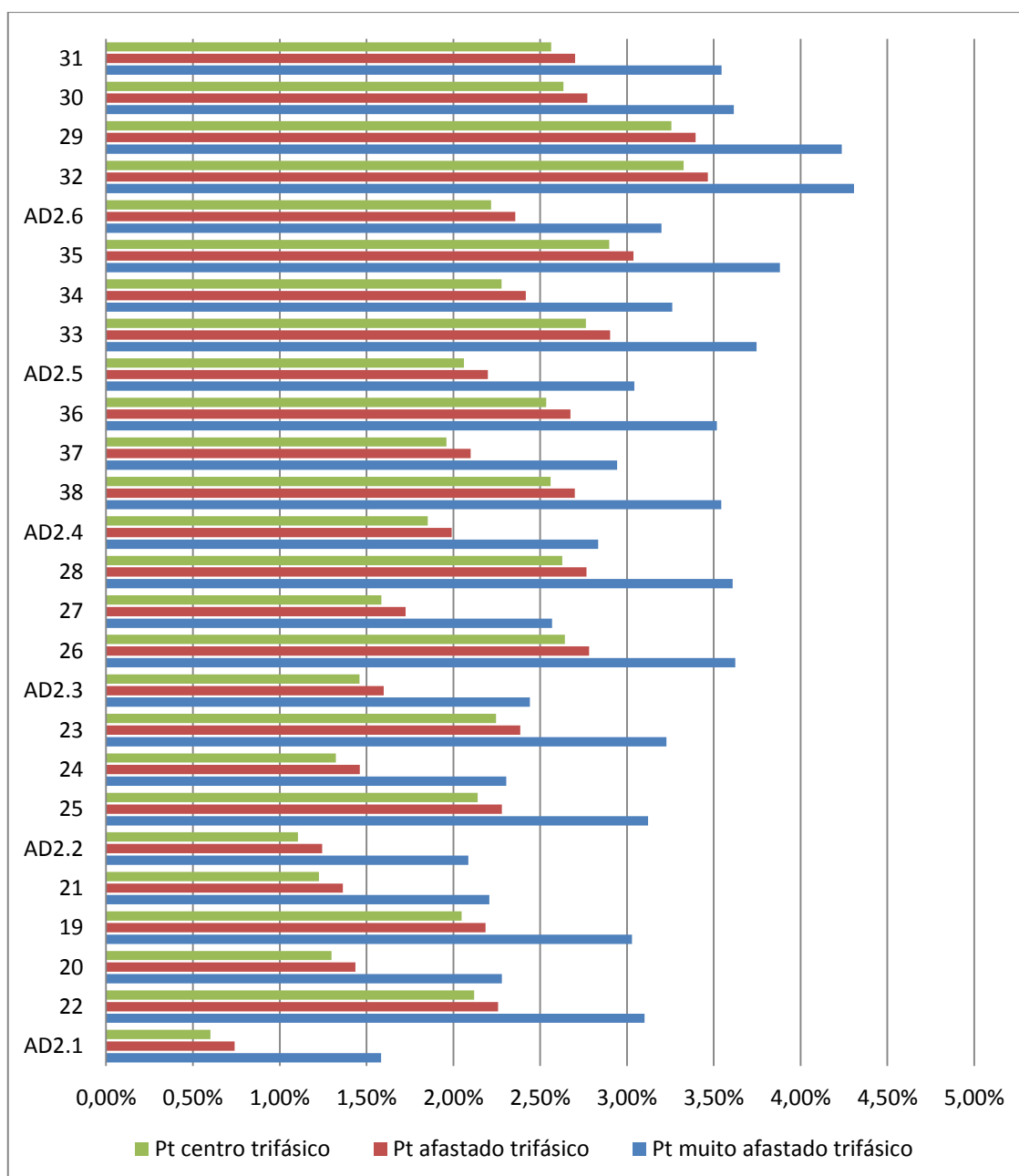
Comparando a figura 4.10 com a figur 4.9 percebe-se que o fato da alimentação ser monofásica muda a escolha da melhor solução. No caso de certos ramais, para a solução de colocar o AD afastado do PT ou afastado do AD a montante é possível verificar que o valor percentual da queda de tensão ultrapassou o valor regulamentar (ramal “7”, “11”, “16”, “15”, “57” e “60”). É de salientar que os ramais referidos são para este tipo de solução, os que apresentam maiores comprimentos entre os ramais alimentados pelo respectivo AD, à imagem do que foi explicado no parágrafo anterior.

Se relativamente ao caso anterior não poderiam ser extraídas grandes conclusões, neste caso percebe-se que se as cargas a serem alimentadas por um AD estiverem consideravelmente distantes (ramais com comprimentos consideráveis) e a alimentação destas for monofásica a opção de colocar o AD no centro de carga das potências alimentadas por este é provavelmente a melhor opção, para conseguir diminuir o comprimento dos ramais e consequentemente a queda de tensão.



**Figura 4.11** - Valor percentual da queda de tensão da saída 2 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3).

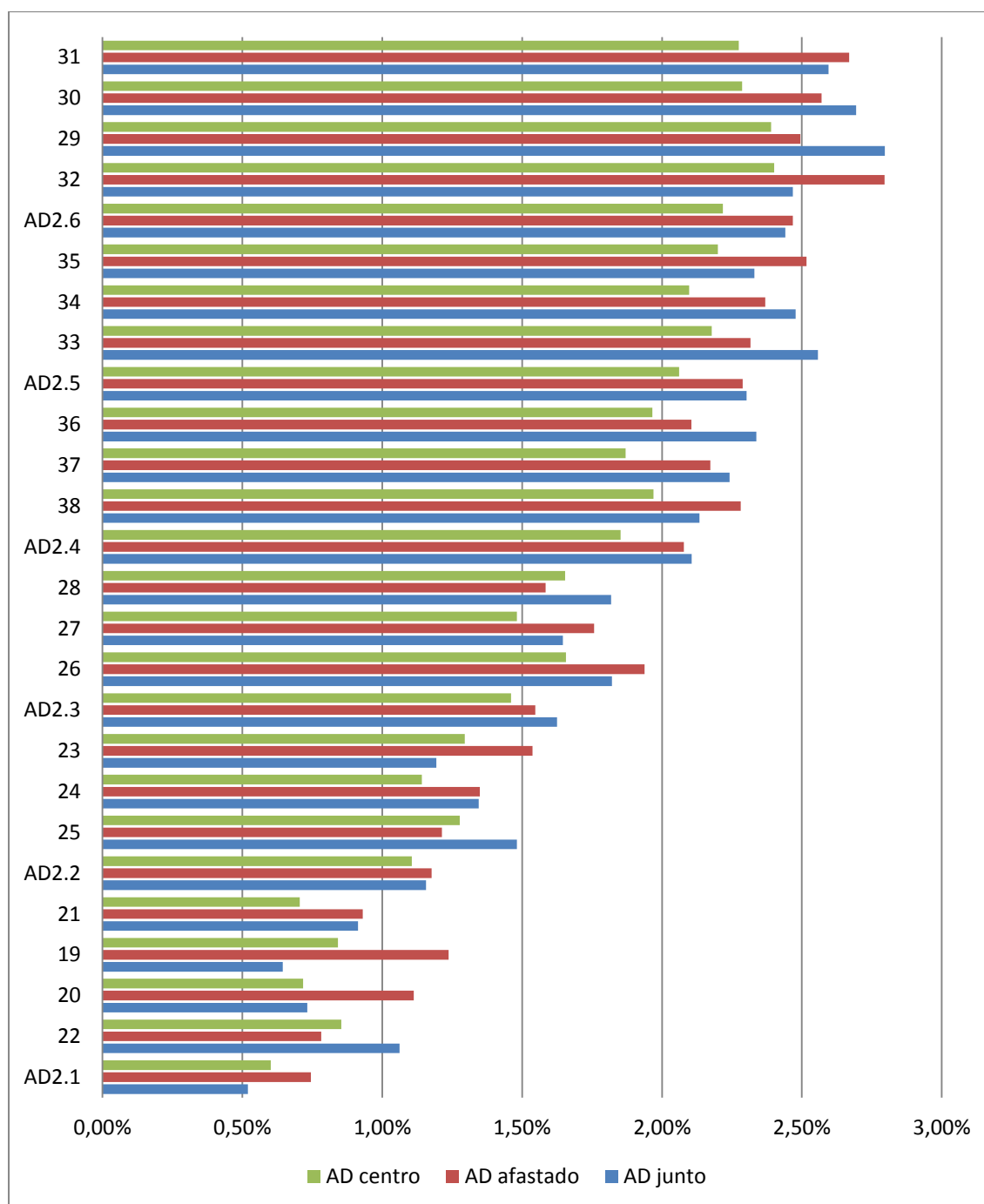
Verificam-se na figura 4.11 todos os aspetos que se referiu para a saída 1. Relativamente às diferenças nos valores percentuais de queda de tensão para cada solução nada se pode concluir visto que estes podem tomar valores devido a diferentes potências a alimentar, diferentes comprimentos e diferentes cabos usados. Como a saída 2 alimenta cargas com as mesmas características das alimentadas pela saída 1, os resultados apresentados na figura 4.11 são semelhantes aos da figura 4.7.



**Figura 4.12** - Valor percentual da queda de tensão da saída 2 (soluções 2.1, 2.2 e 2.3).

Mais uma vez os resultados demonstrados através da figura 4.12 são idênticos aos apresentados pela figura 4.8. A única diferença será que neste caso o limite regulamentar da queda de tensão não é ultrapassado mesmo para a solução do PT colocado muito afastado do centro de carga da urbanização. A opção de colocar o PT no centro de carga da urbanização volta a ser a melhor opção.

Mais uma vez as canalizações principais trifásicas não apresentam diferenças no valor de queda de tensão quando comparadas com a figura 4.11, sendo os ramais que contribuem para o aumento do valor percentual da queda de tensão devido à alimentação ser monofásica tal como acontecia para a saída 1.

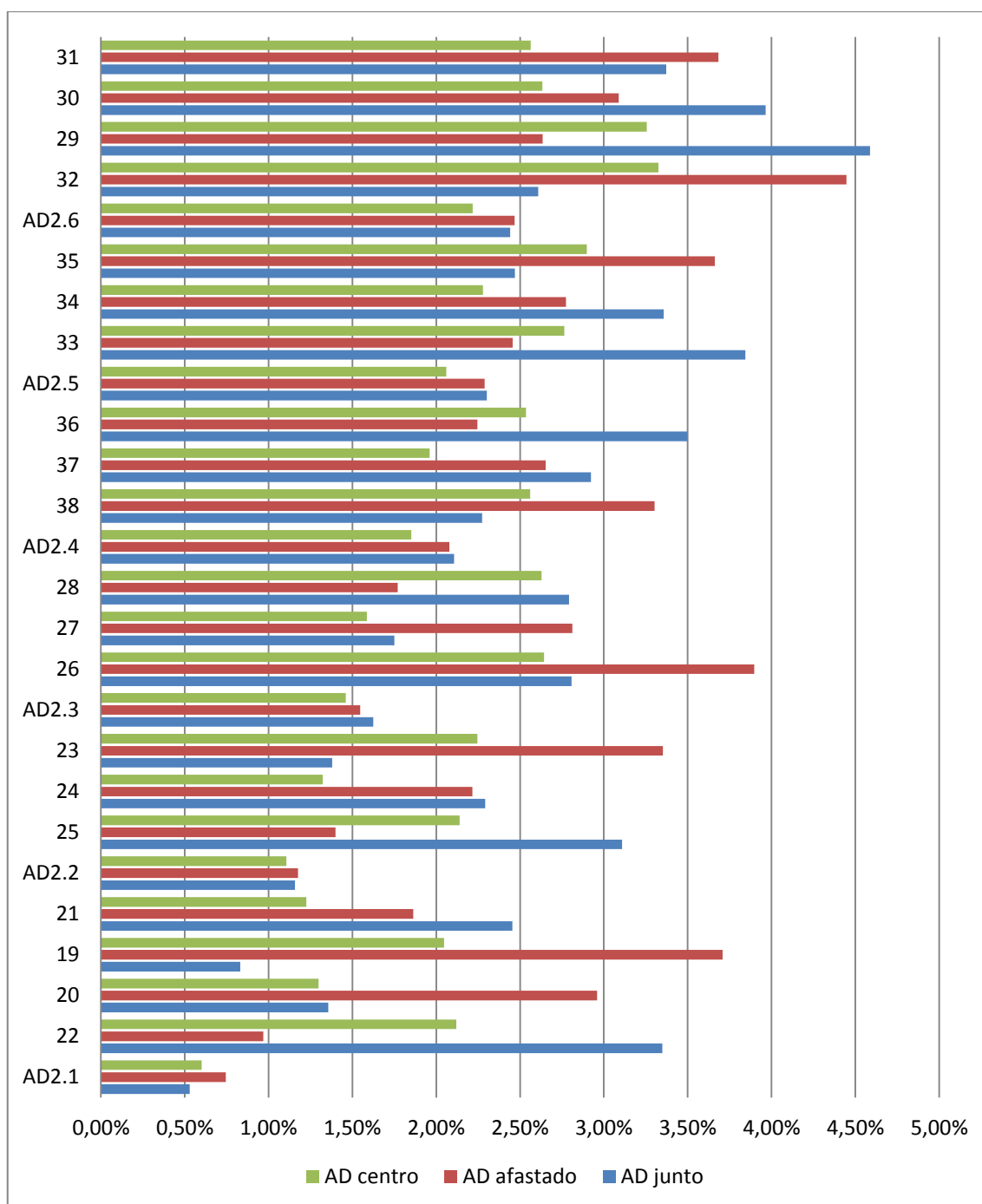


**Figura 4.13** - Valor percentual da queda de tensão da saída 2 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3).

Mais uma vez a opção de colocar o AD afastado do PT ou afastado do AD a montante é aquela que apresenta piores resultados e para este tipo de distribuição geográfica de cargas deverá ser descartada.

Relativamente às outras duas soluções de localização dos AD's, mais uma vez se verifica resultados muito semelhantes não sendo possível chegar a uma conclusão sobre qual a melhor opção. As análises realizadas para a saída 1 adequam-se também para este caso e não serão novamente mencionadas.

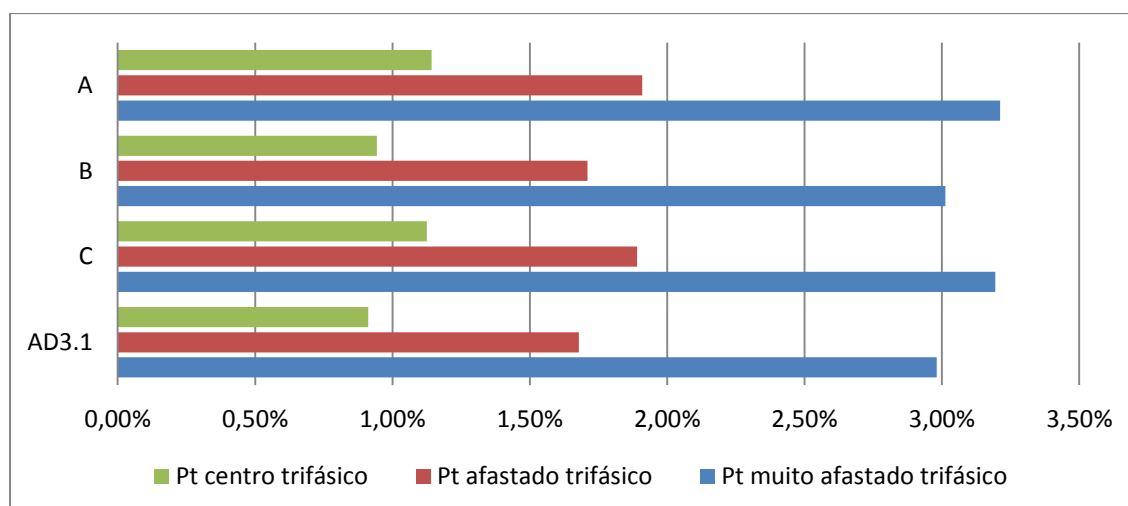




**Figura 4.14** - Valor percentual da queda de tensão da saída 2 (soluções 4.1, 4.2 e 4.3).

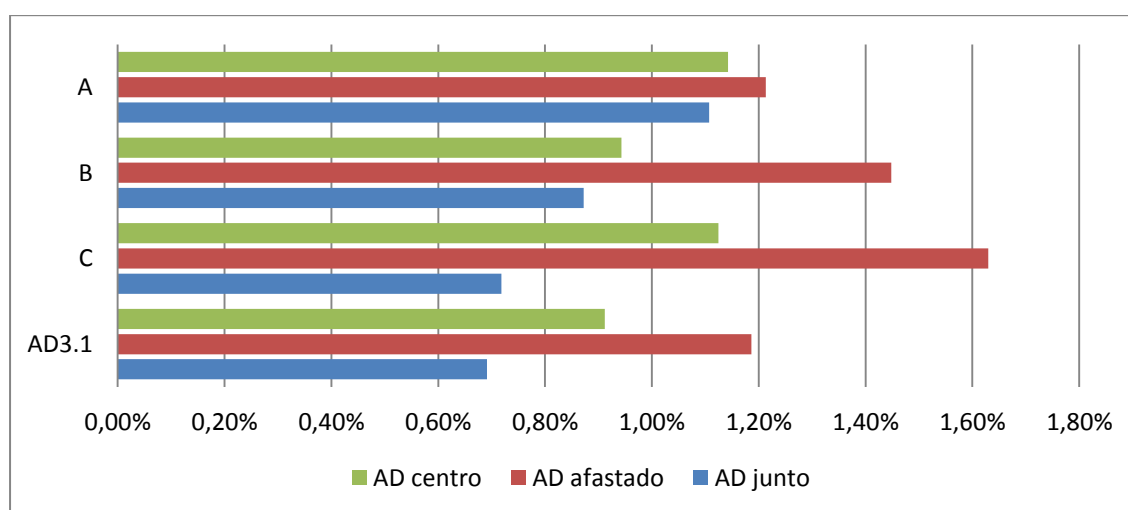
Tal como acontecia na saída 1, existem ramais, que quando o AD é colocado junto do PT ou junto do AD a montante, possuem valores percentuais muito mais elevados de queda de tensão de que no caso anterior, em que a alimentação desses ramais era trifásica.

Mais uma vez neste tipo de condições a solução de colocar o AD no centro de carga das potências a alimentar por esse AD é a solução recomendada, visto que diminui o comprimento total dos ramais. O ramo com comprimento máximo será menor do que o ramo com comprimento máximo no caso de se usar a solução do AD junto do PT ou junto do AD a montante. Consegue-se assim controlar os valores máximos de queda de tensão da rede.



**Figura 4.15** - Valor percentual da queda de tensão da saída 3 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3).

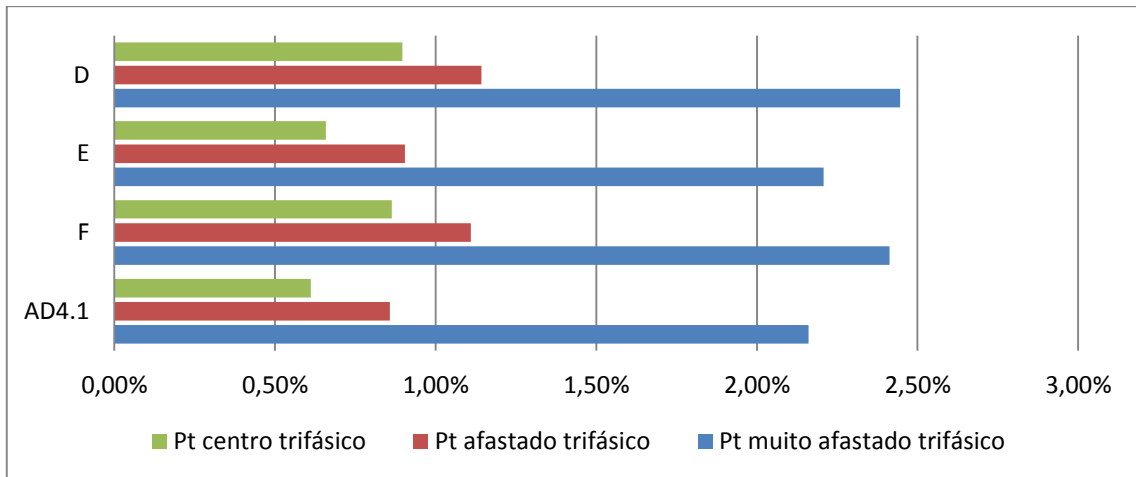
Relativamente à saída 3, com características completamente diferentes das duas anteriores no que diz respeito à localização geográfica e potências das cargas, verifica-se que a opção de colocar o PT no centro de carga da urbanização é a melhor opção, sendo que quanto mais afastado do centro de carga, maiores são os valores de queda de tensão.



**Figura 4.16** - Valor percentual da queda de tensão da saída 3 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3).

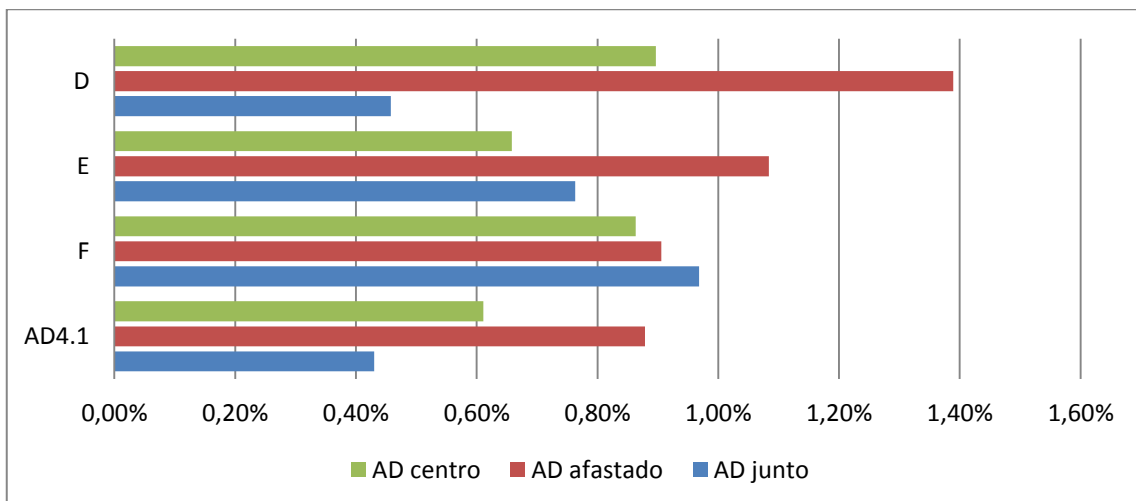
Tal como acontecia nas outras duas saídas, a opção de colocar o AD afastado do PT ou afastado do AD a montante deverá ser descartada para este tipo de distribuição de cargas. Relativamente às duas restantes opções verifica-se que neste caso a solução de colocar o AD junto do PT ou junto do AD a montante leva a melhor. Tal fato deve-se ao valor da corrente que o cabo terá que transportar o que fará com que exista um valor considerável de queda de tensão. Naturalmente ao diminuir o tamanho desse cabo, reduz-se o valor da queda de tensão como é visível no gráfico (canalização principal do PT ao AD3. 1). Esta opção será sempre a melhor se essa diferença do valor de queda de tensão para a canalização principal relativamente à opção de colocar o AD no centro de carga das potências alimentadas por esse AD for superior às respectivas diferenças entre as duas soluções, no que diz respeito aos

ramais. Na figura 4.16 é visível que essa diferença relativamente à canalização principal é suficientemente grande para que a solução de localizar o AD junto do PT ou junto do AD a montante apresente os melhores valores de queda de tensão para todas as canalizações. É de salientar que para o ramal A e B a queda de tensão específica da canalização é superior quando comparada com a solução de colocar o AD no centro de cargas das potências alimentadas por este. Mesmo assim a queda de tensão total é inferior, como foi referido.



**Figura 4.17** - Valor percentual da queda de tensão da saída 4 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3).

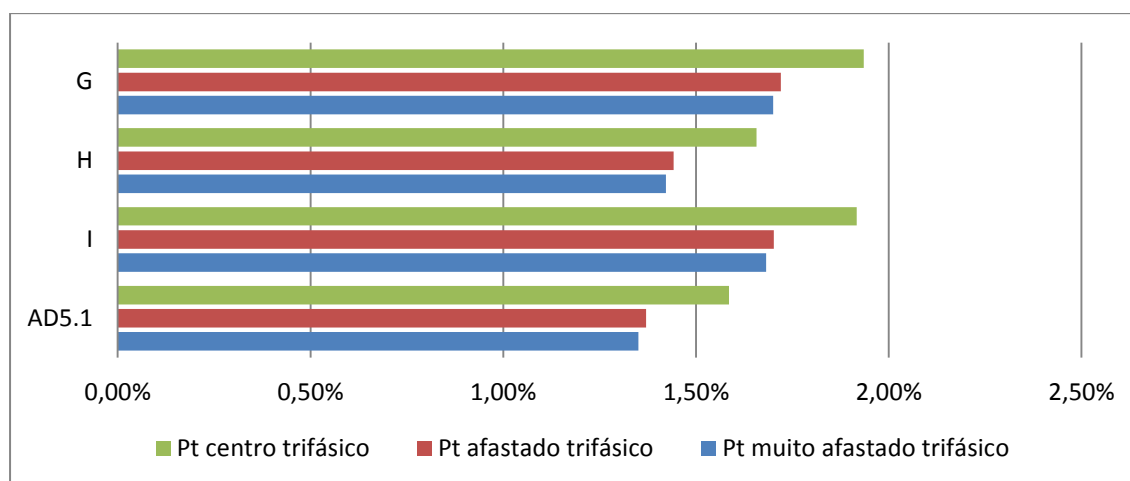
A figura 4.17 demonstra que o valor percentual da queda de tensão quando o PT está afastado do centro de carga da urbanização é ligeiramente inferior para esta saída, porque este se encontra mais próximo do AD que alimenta estas cargas, logo o comprimento da canalização é mais curto o que provoca menor queda de tensão. Já tinha sido referido que tal situação poderia acontecer.



**Figura 4.18** - Valor percentual da queda de tensão da saída 4 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3).

A partir da figura 4.18 volta-se a observar os mesmos resultados para a solução de colocar o AD afastado do PT ou afastado do AD a montante, sendo esta a pior solução mais uma vez.

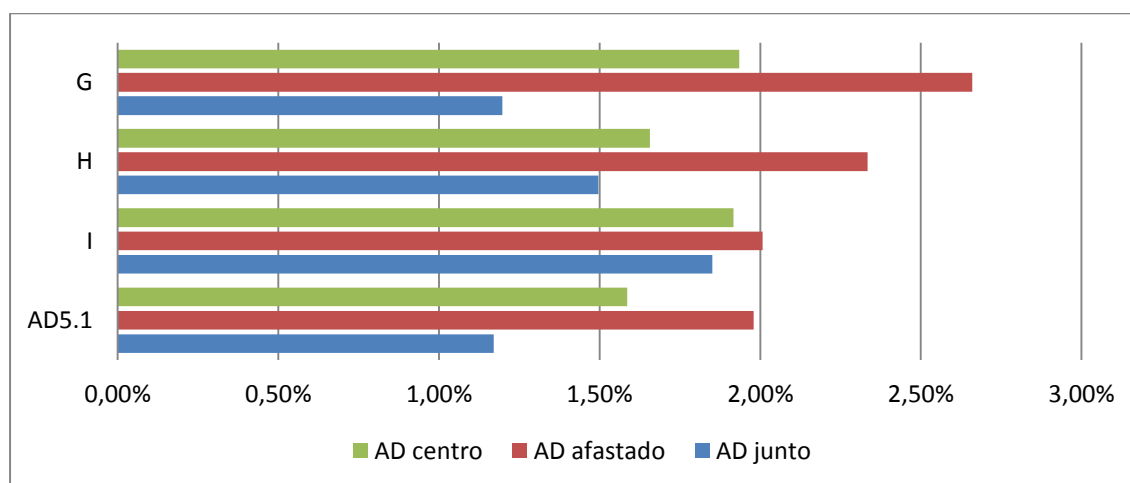
No que diz respeito às duas restantes mais uma vez as condições da instalação, tais como a corrente de serviço, a localização das cargas e a escolha dos cabos ditam a melhor solução.



**Figura 4.19** - Valor percentual da queda de tensão da saída 5 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3).

A figura 4.19 revela que para esta saída a solução de colocar o PT muito afastado do centro de carga da urbanização não é a pior opção tal como acontecia para todas as outras saídas. Tal acontece porque ao desviarmos a localização do PT estamos a afastá-lo da maior parte das cargas, mas estamos naturalmente a aproximarmos de outras, o que acontece neste caso.

É importante realçar que para se obter alguma conclusão sobre qual a melhor localização do PT é necessário fazer uma análise geral dos resultados de todas as saídas e não apenas de uma ou outra saída. Apesar de neste caso a opção de colocar o PT no centro de carga da urbanização apresentar os piores resultados relativamente à queda de tensão, para todas as outras saídas é a melhor solução e, portanto poderá concluir-se que relativamente à queda de tensão será a solução mais aconselhável.



**Figura 4.20**- Valor percentual da queda de tensão da saída 5 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3).

Relativamente à localização dos AD's mais uma vez se verifica através da figura 4.20 que a opção de colocar o AD afastado do PT ou afastado do AD a montante apresenta os piores resultados e que para este caso a opção de colocar o AD junto do PT ou junto do AD a montante apresenta os melhores resultados.

É de salientar que naturalmente a melhor opção para a localização dos AD's depende sempre da localização do PT, sendo que a sua localização irá ditar o comprimento da canalização principal desde o PT até ao AD em questão.

#### **4.3.2.1 - Conclusões**

##### **Localização do PT:**

Pelos resultados obtidos, a solução recomendada para a localização do PT é colocá-lo no centro de carga das potências a alimentar. Por motivos estruturais da urbanização, por vezes não é possível colocar o PT no local desejado. É aconselhado que o PT fique localizado o mais próximo possível do centro de carga, sendo que quanto mais afastado ficar desse ponto, maiores serão os valores de queda de tensão em determinadas canalizações piorando as condições gerais de funcionamento da rede.

##### **Localização do AD:**

Pelos resultados obtidos, existem duas soluções recomendadas para a localização dos AD's consoante o tipo de alimentação:

- Quando a alimentação das instalações é trifásica recomenda-se a solução do AD localizado junto do PT ou junto do AD a montante ou o AD localizado no centro de carga das potências alimentadas por este.
- Quando a alimentação das instalações é monofásica recomenda-se a solução do AD localizado no centro de carga das potências alimentadas por este.

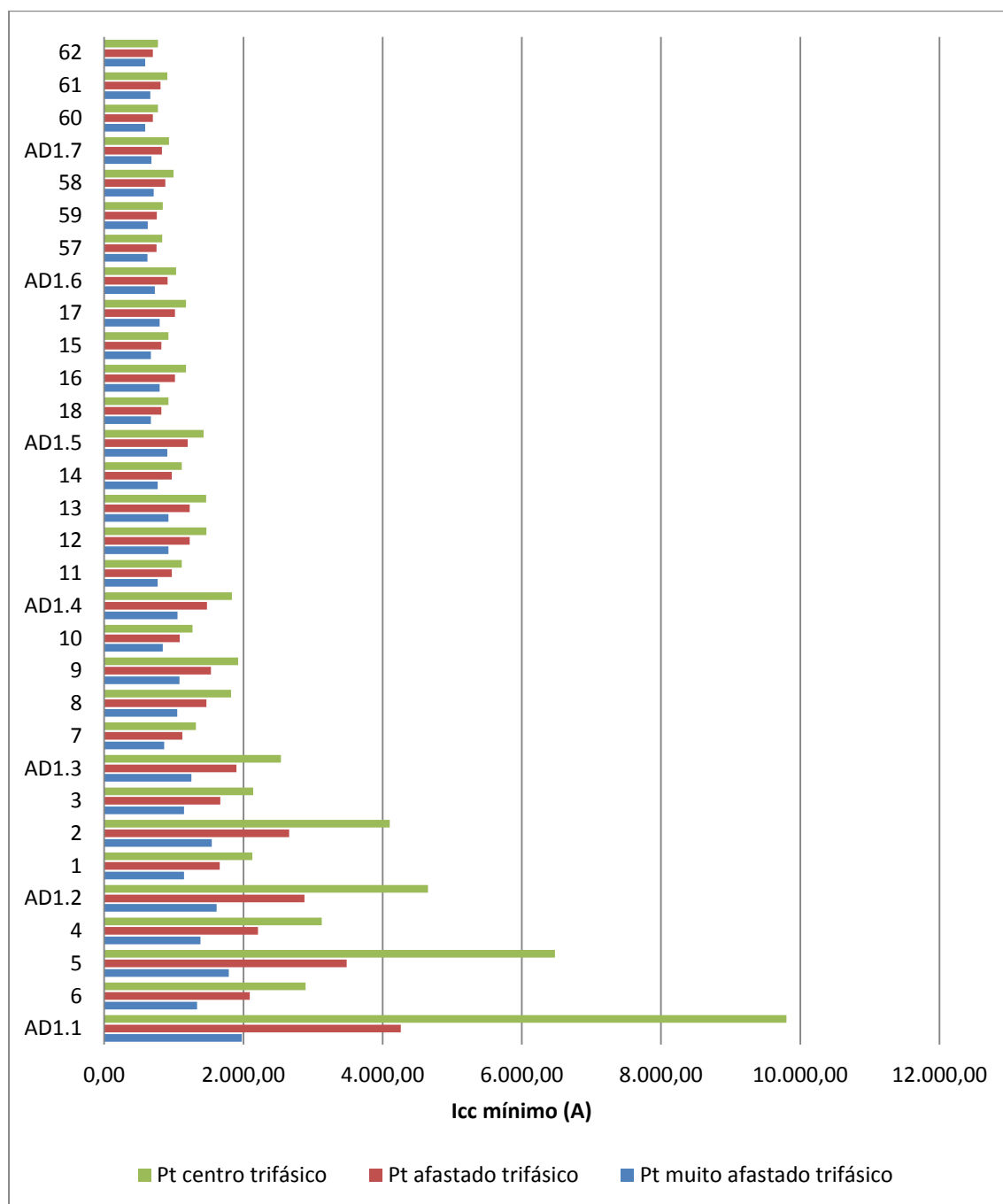
Neste caso existem duas soluções sugeridas, pois cada solução apresenta-se como a melhor para diferentes tipos de localização de cargas e diferentes tipos de estrutura de rede. Cabe ao projetista avaliar para cada caso qual será a melhor solução. A solução de colocar o AD afastado do PT ou afastado do AD a montante poderá ainda ser a melhor solução para uma determinada situação. Se relativamente ao PT não existe dúvidas de qual a melhor localização, no caso do AD o posicionamento geográfico das cargas, os níveis de potência das mesmas e os traçados das canalizações irá definir qual a melhor solução.

#### **4.3.3 - Análise de resultados para a condição de proteção contra curto circuito**

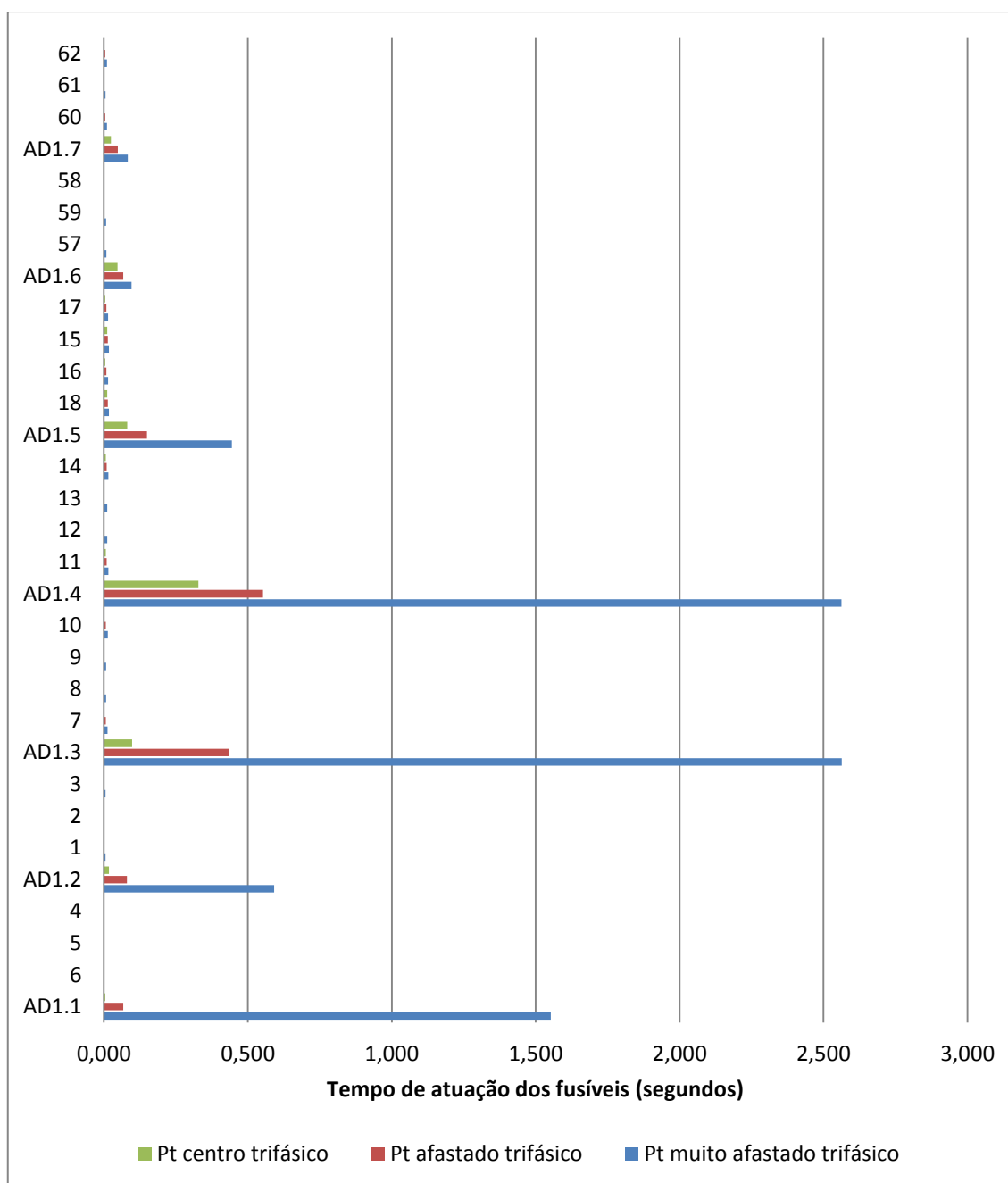
Nesta condição é necessário garantir que o aparelho de proteção possua um tempo de atuação inferior a 5 segundos e inferior ao tempo de fadiga térmica do cabo, simultaneamente. Como o tempo de fadiga térmica depende da corrente de curto circuito, que por sua vez depende do comprimento da canalização, conclui-se que as diferentes localizações do PT e dos AD's terão influência na verificação da presente condição.

Tal como foi realizado para a condição anterior, também nesta foi feita uma análise a várias soluções, tendo sido excluído o estudo dos diferentes tipos de alimentação visto que não têm qualquer tipo de influência neste caso.

É de salientar que as soluções tomadas relativamente aos cabos e proteções são os mesmos usados no caso do estudo da condição de queda de tensão. Para cada solução foram obtidos dois gráficos, um referente ao tempo de atuação dos fusíveis e o outro referente à corrente de curto-circuito mínima para cada canalização, de forma a verificar a relação existente entre ambas.



**Figura 4.21** - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 1 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3).



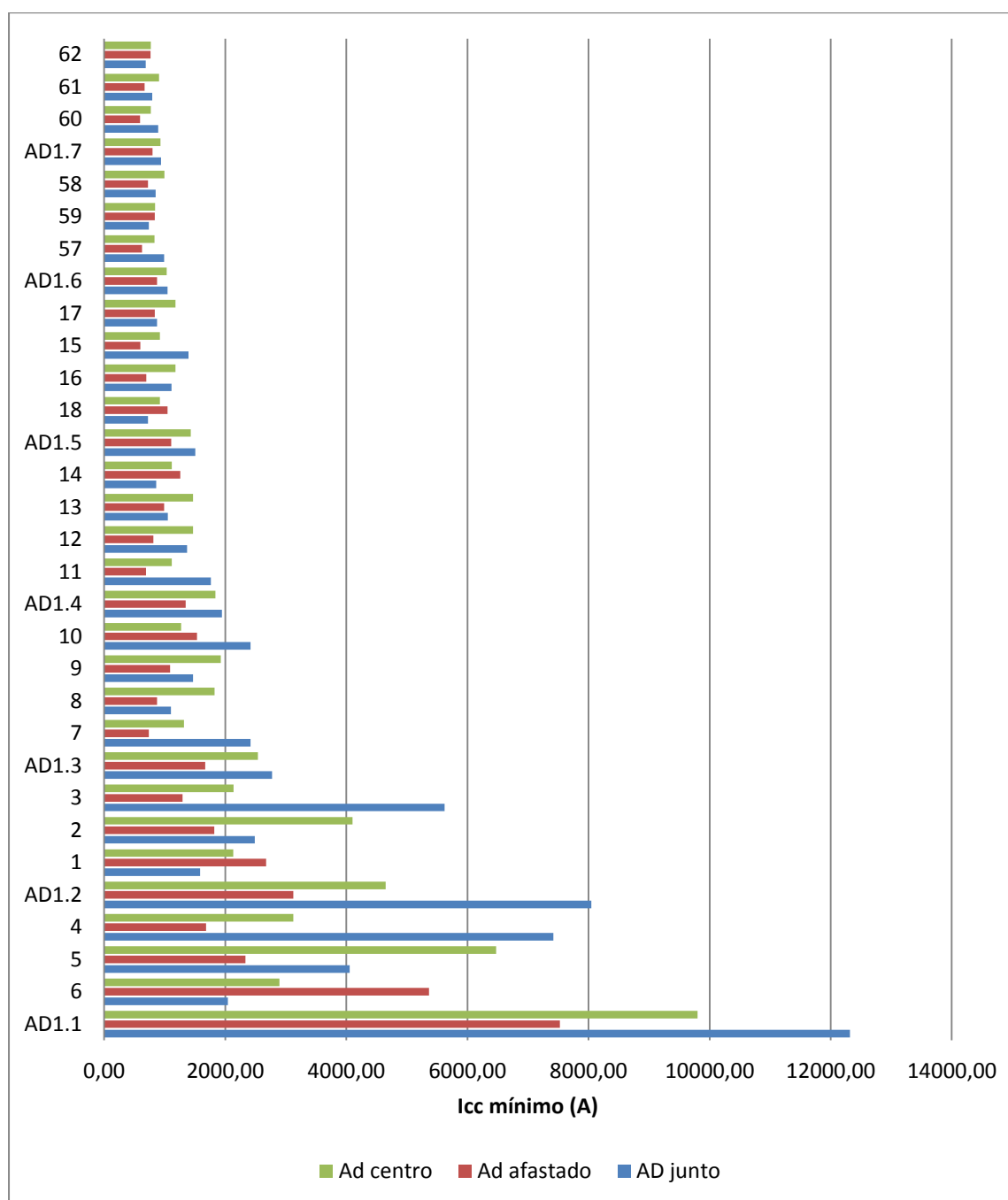
**Figura 4.22** - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 1 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3).

Relativamente à corrente de curto circuito mínima da saída 1, verifica-se a partir da figura 4.21 que os valores mais elevados dizem respeito à opção de colocar o PT no centro de carga, sendo que os mais baixos pertencem à solução de colocar o PT muito afastado do centro de carga. Observa-se ainda que dentro de cada solução de localização do PT as potências mais próximas do PT, canalizações mais curtas, apresentam os valores mais elevados.

No seguimento do que foi descrito no parágrafo anterior, pode-se adiantar que a corrente de curto circuito mínima aumenta com a proximidade da carga ao PT, isto porque as canalizações são mais curtas.

Observando a figura 4.22, verifica-se que acontece exatamente o contrário. Os valores mais elevados dizem agora respeito à solução de colocar o PT muito afastado, o que faz naturalmente piorar a condição presente. Tal deve-se ao fato de esta solução apresentar correntes de curto circuito mínimas muito baixas. De salientar que quanto menor for o tempo de atuação dos fusíveis melhor será para a condição de proteção contra curto circuito.

Numa primeira análise pode-se concluir que a solução de colocar o PT no centro de cargas das potências a serem alimentadas por este apresenta-se como a melhor solução para este tipo de condição. Já no caso de colocar o PT afastado do centro de carga, verifica-se que quanto mais afastado mais altos serão os tempos de atuação e mais difícil será em certas situações a verificação da condição de curto-circuito.



**Figura 4.23** - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 1 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3).



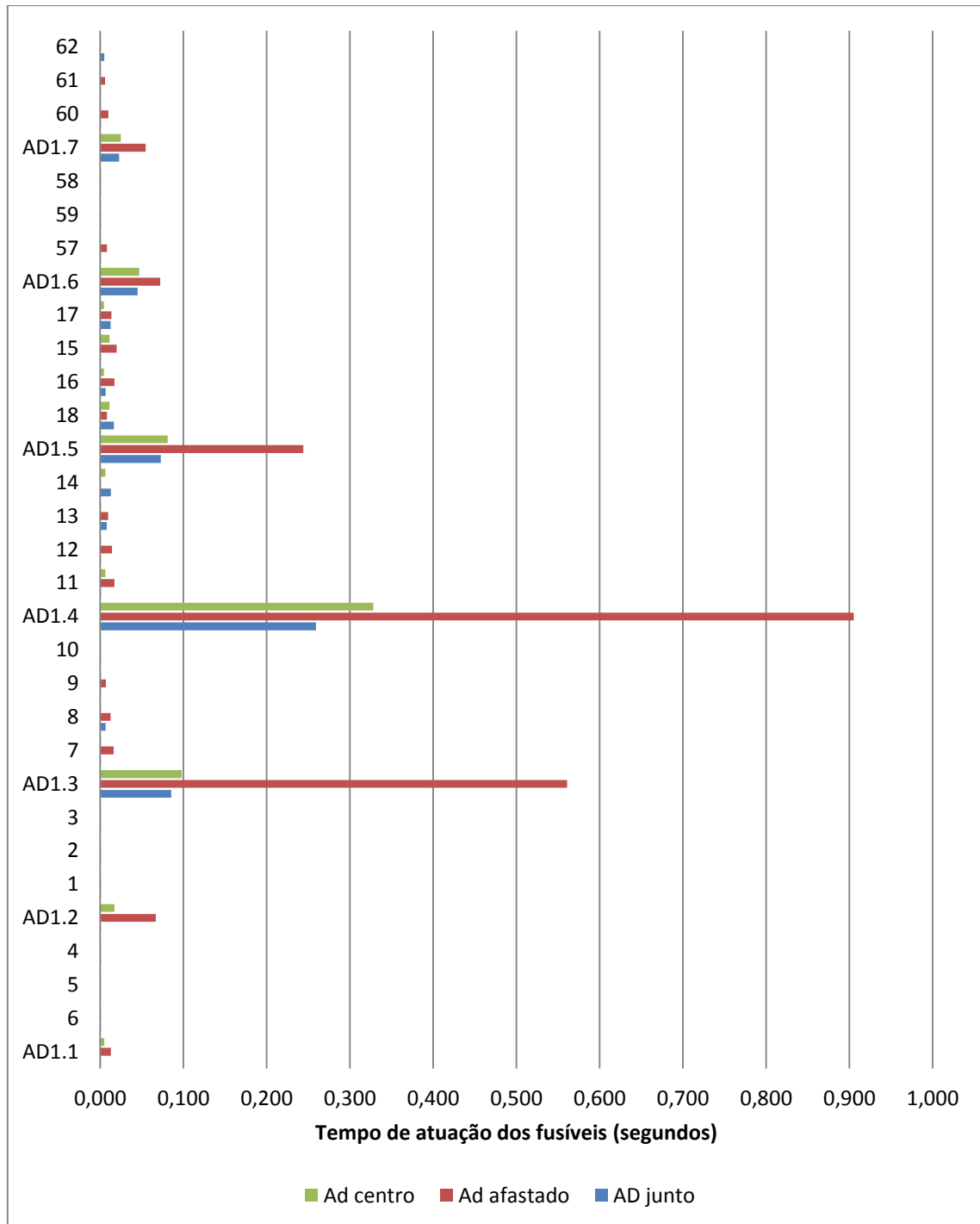


Figura 4.24 - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 1 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3).

Relativamente à localização dos AD's, a relação existente será exatamente a mesma. Ao localizarmos um AD mais perto ou mais afastado do PT ou do AD a montante estamos a diminuir ou aumentar o comprimento da canalização. Logo, como já foi explicado anteriormente, a corrente de curto circuito mínima, aumenta com a redução dos comprimentos da canalização, o que faz com que a solução de colocar o AD junto do PT ou junto do AD a montante se apresente como a melhor solução relativamente às canalizações principais.

O único problema desta solução relativamente esta condição surge quando umas das cargas dentro do grupo de cargas alimentadas pelo mesmo AD se encontra bastante afastada de todas as outras. Nesse caso irá existir um ramal com um comprimento bastante considerável, o que implica o aumento do tempo de atuação do fusível. Neste tipo de casos a solução de colocar o AD no centro de carga das potências alimentadas por este pode se tornar a melhor solução.

Através do gráfico do tempo de atuação é visível que a opção de colocar o AD afastado do PT ou afastado do AD a montante é claramente a pior solução, apresentando as duas outras opções valores bastante próximos. Mais uma vez, à imagem do que acontecia na condição de queda de tensão, a localização geográfica das cargas terá um papel fundamental na escolha de qual a melhor solução para localização dos AD's.

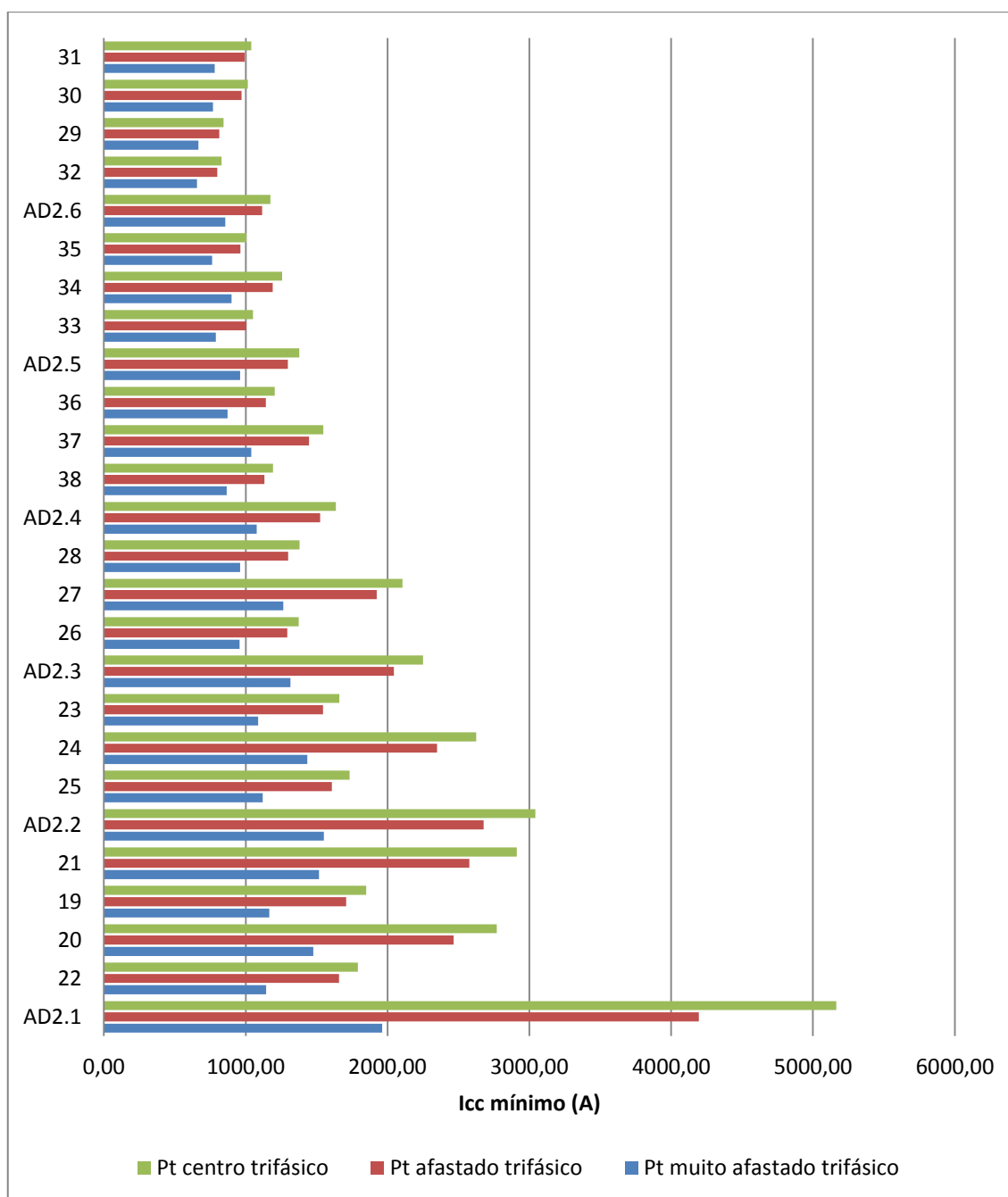
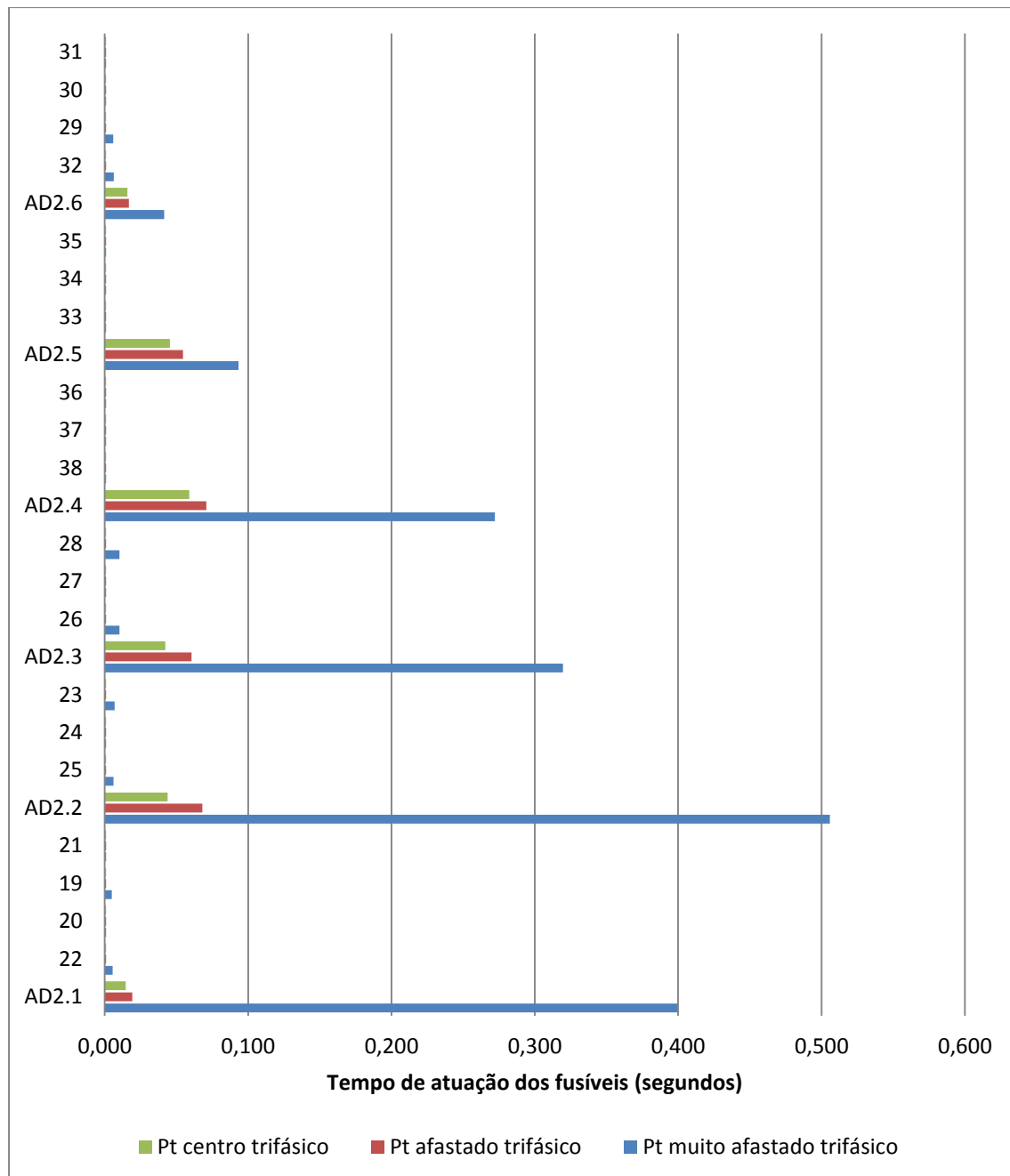
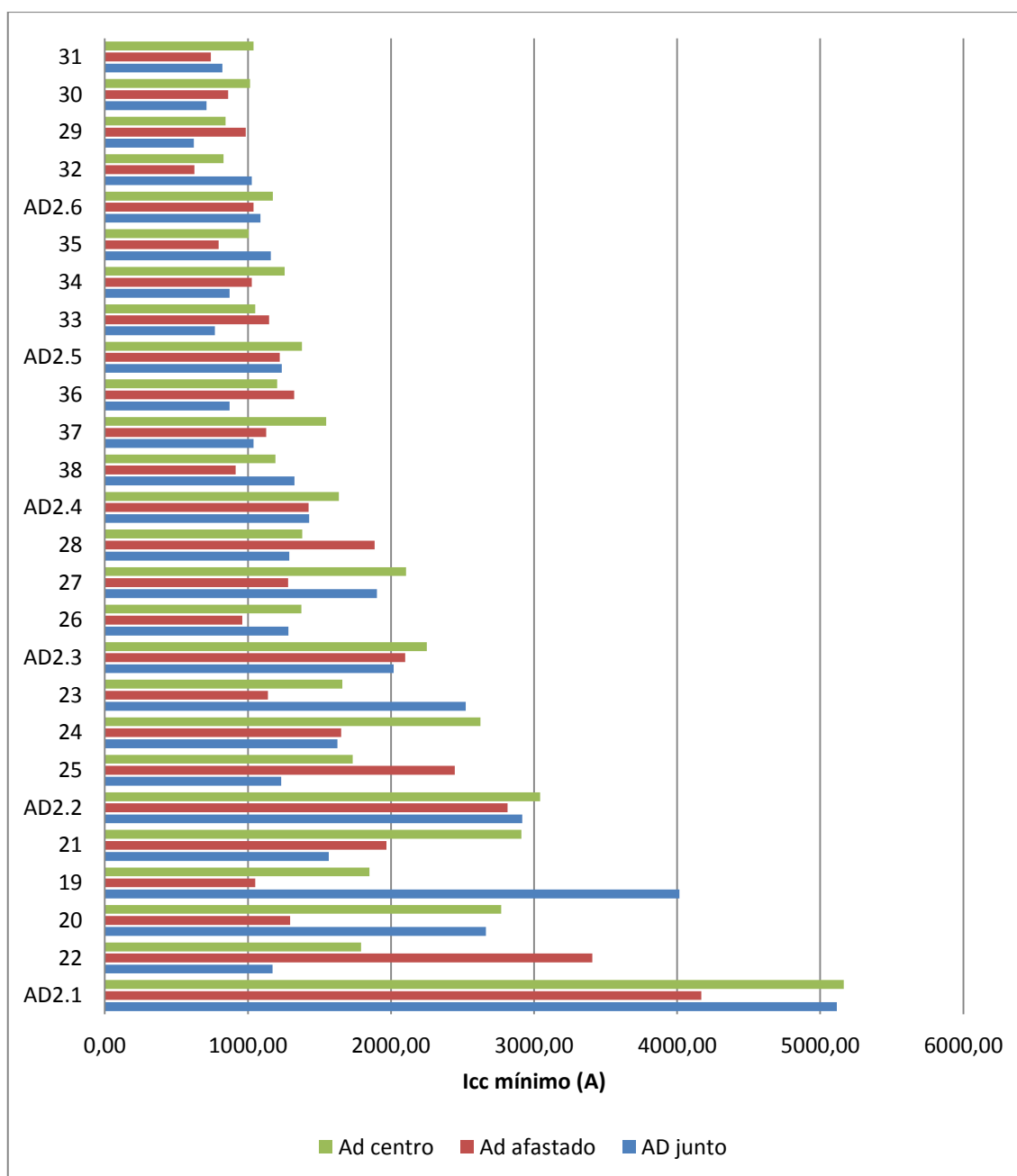


Figura 4.25 - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 2 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3).



**Figura 4.26** - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 2 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3).

A análise realizada para a saída 1 é semelhante à análise que poderá ser feita para a saída 2. Tanto na figura 4.25 como na figura 4.26 as soluções apresentam as mesmas evidências presentes na figura 4.21 e 4.22. Tal fato acontece, porque as características das cargas da saída 1 são semelhantes às cargas da saída 2.



**Figura 4.27** - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 2 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3).

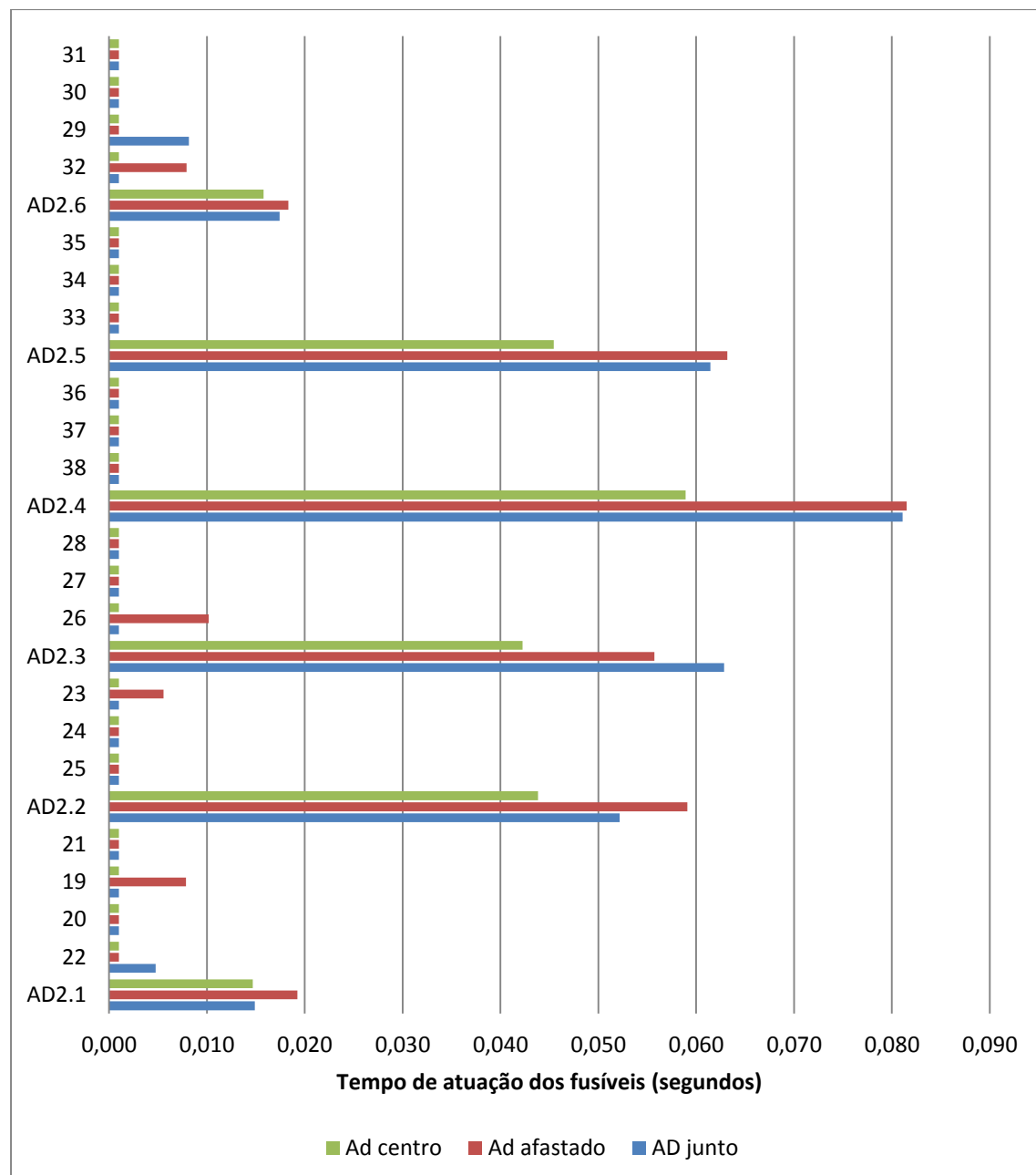


Figura 4.28 - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 2 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3).

Relativamente à localização dos AD's, neste caso a solução de colocar o AD no centro de carga das potências a serem alimentadas por este, parece ser a melhor solução. É de referir, que tendo as cargas a mesma potência, como é o caso, a localização das cargas será o fator decisivo na escolha da melhor solução.

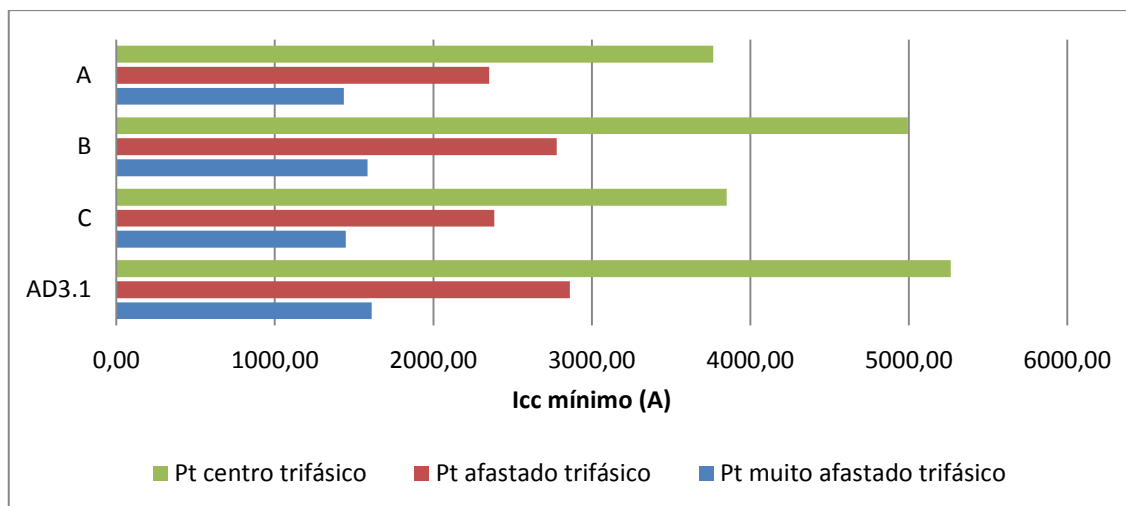


Figura 4.29 - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 3 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3).

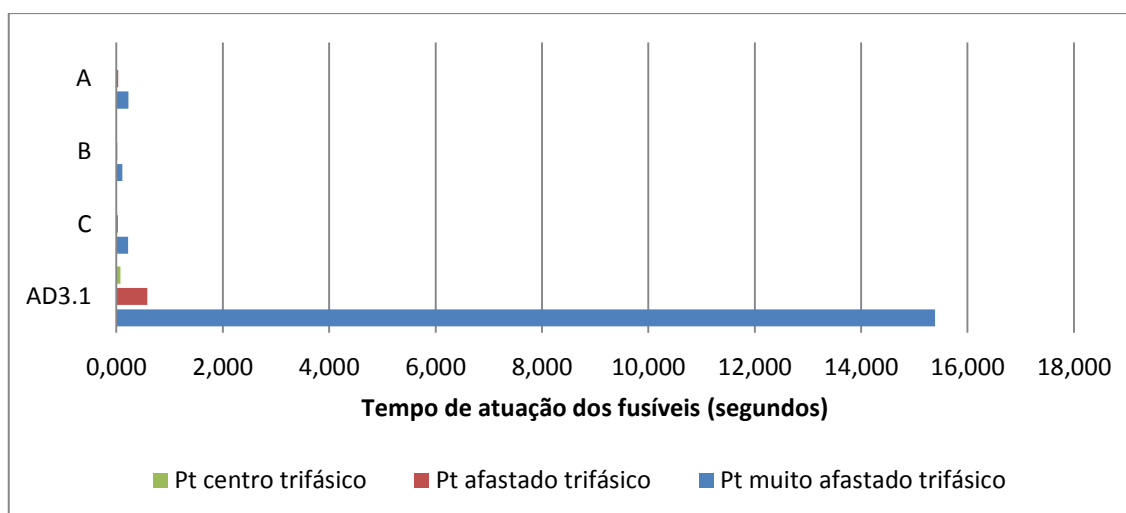


Figura 4.30 - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 3 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3).

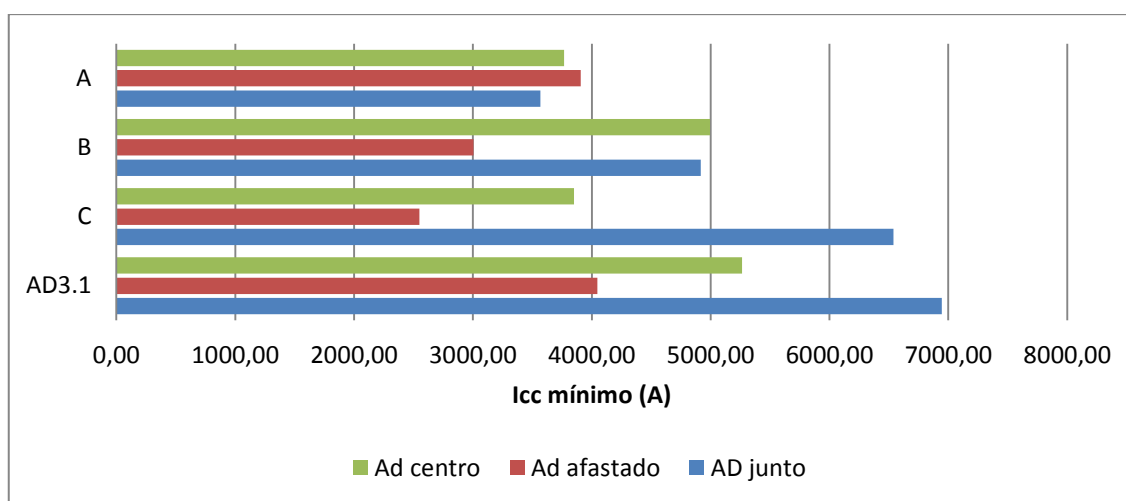


Figura 4.31 - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 3 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3).

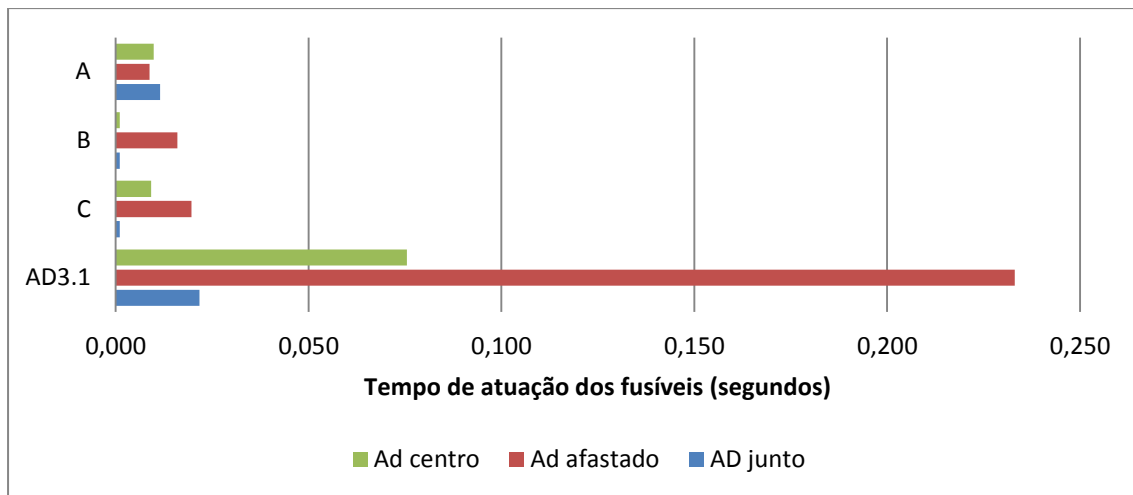


Figura 4.32 - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 3 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3).

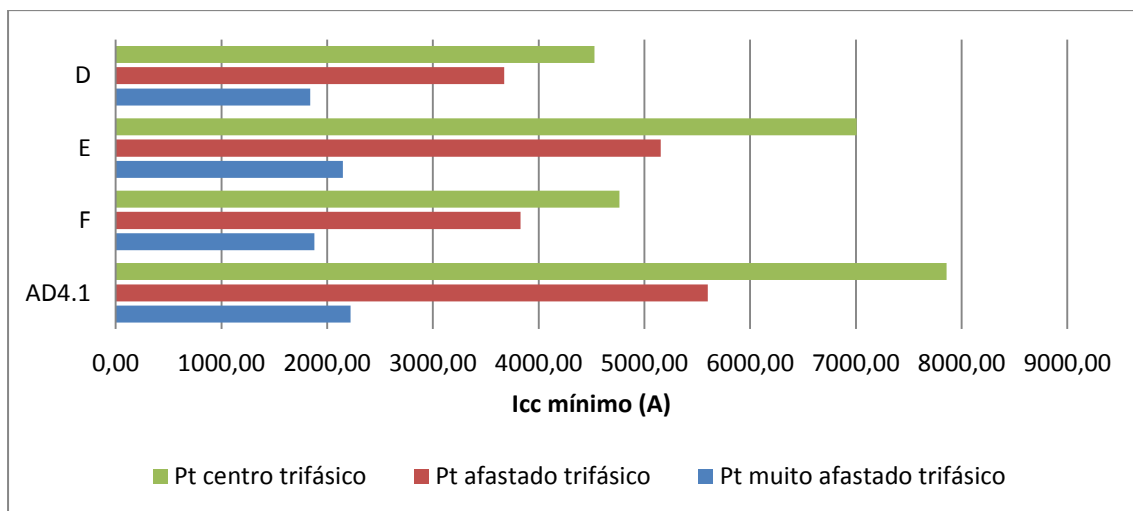


Figura 4.33 - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 4 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3).

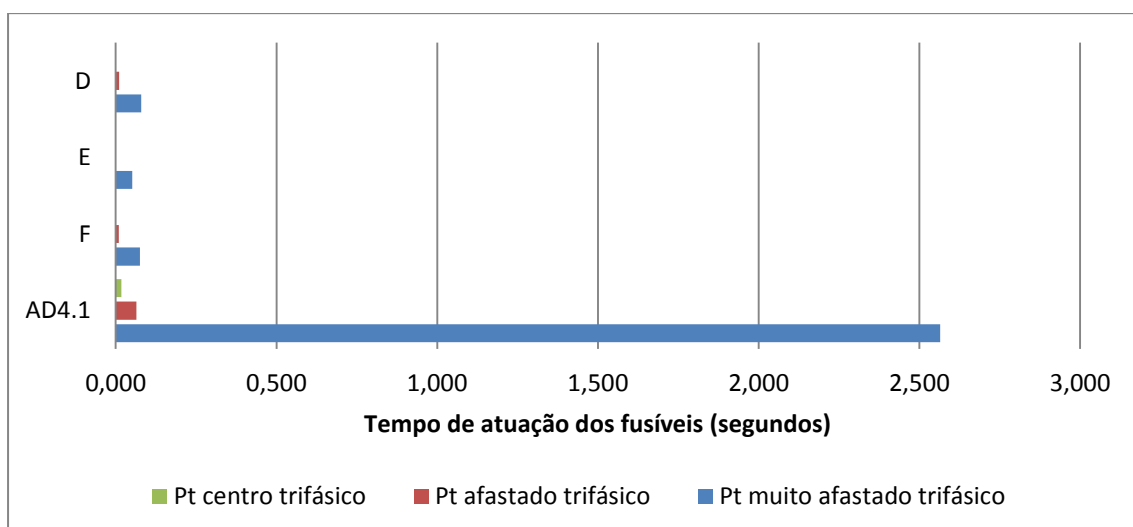
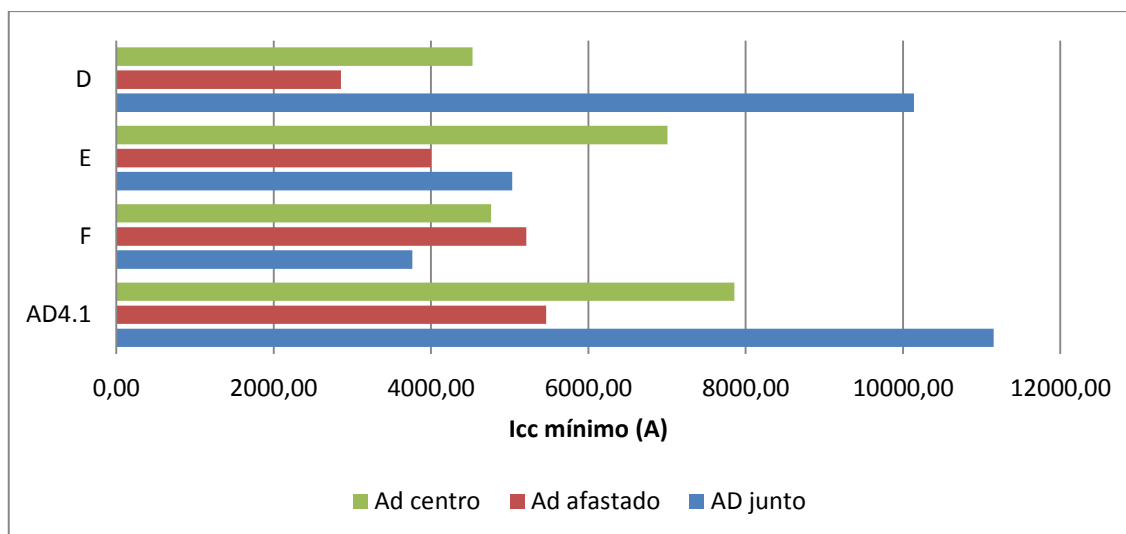
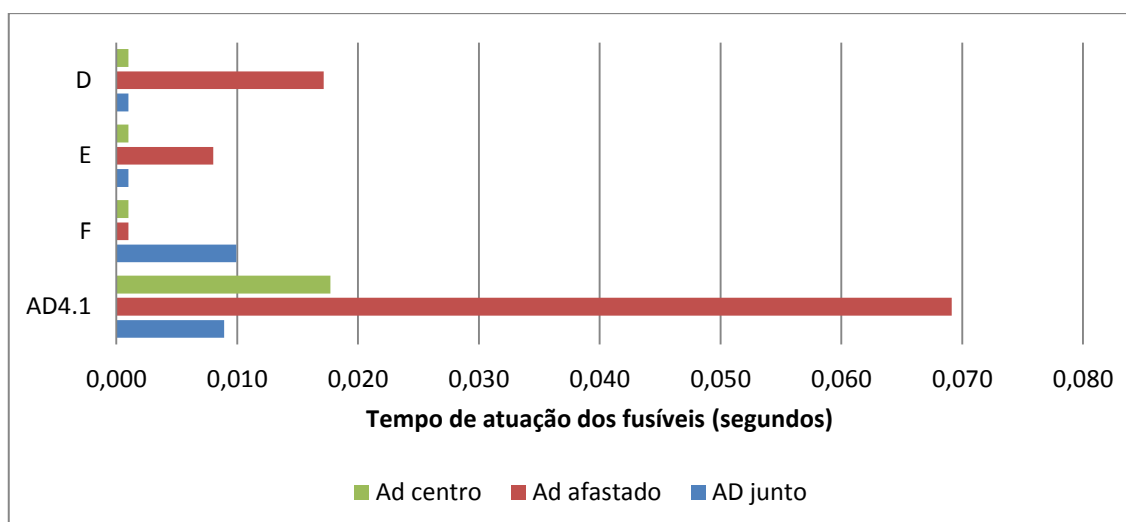


Figura 4.34 - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 4 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3).



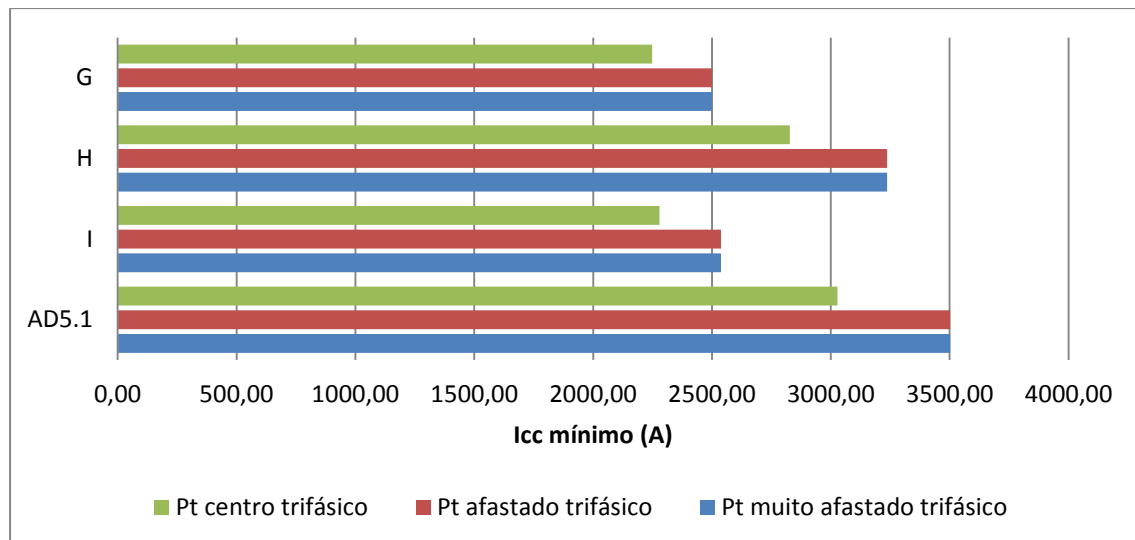


**Figura 4.35** - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 4 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3).

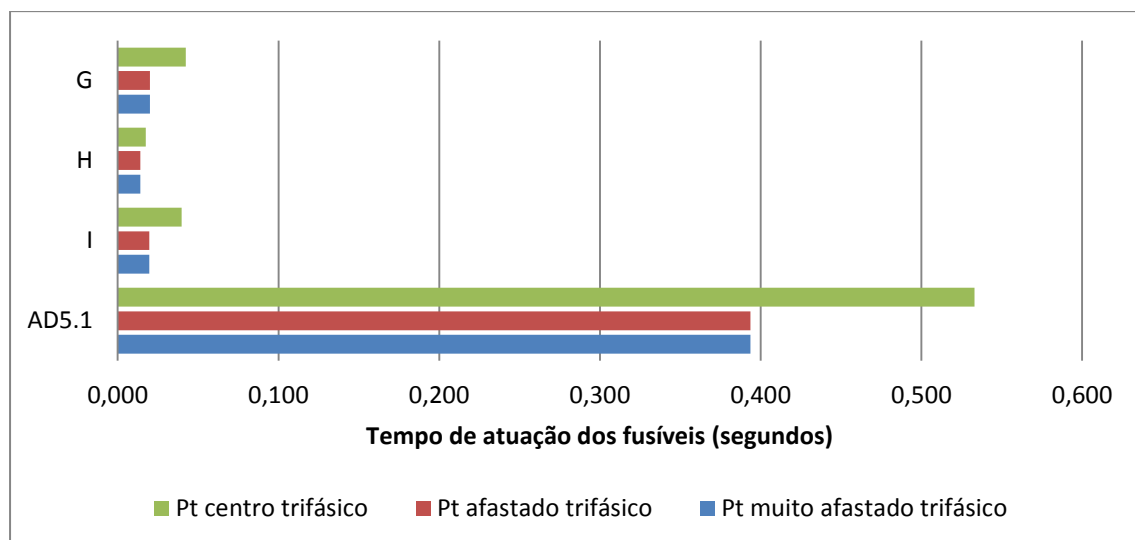


**Figura 4.36** - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 4 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3).

Analisando figuras referentes à saída 3 e saída 4 verifica-se que acontece exatamente o mesmo, isto é a opção de colocar o PT no centro de carga continua apresentar-se como melhor solução. Relativamente à localização dos AD's, à imagem do que acontecia com a saída 1 e saída 2, a solução de colocar o AD no centro de carga das potências alimentadas por este e a solução de colocar o AD junto do PT ou junto do AD a montante continuam apresentar os melhores resultados. A solução de colocar o AD afastado do PT ou afastado do AD a montante é novamente a pior solução.



**Figura 4.37** - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 5 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3).



**Figura 4.38** - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 1 (soluções 1.1, 1.2 e 1.3).

Tal como acontecia no caso da condição da queda de tensão, a saída 5 apresenta diferenças quanto à melhor solução relativamente à localização do PT. As cargas alimentadas pela saída 5 estão mais próximas desta nova localização do PT relativamente ao centro de carga do PT, e, portanto as canalizações serão para este caso mais curtas, fazendo com que as condições melhorem.

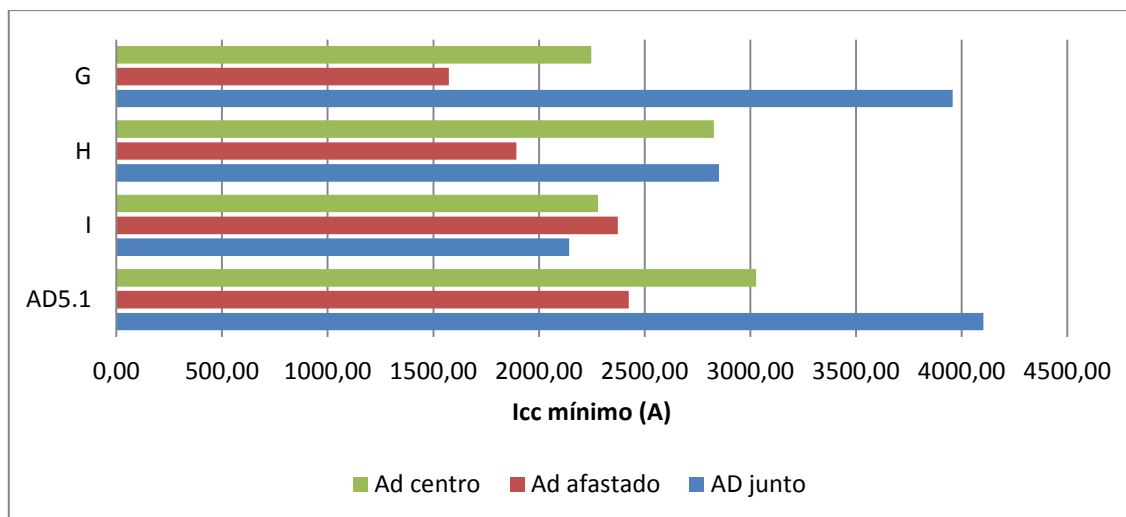


Figura 4.39 - Corrente de curto circuito das várias canalizações da Saída 5 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3).

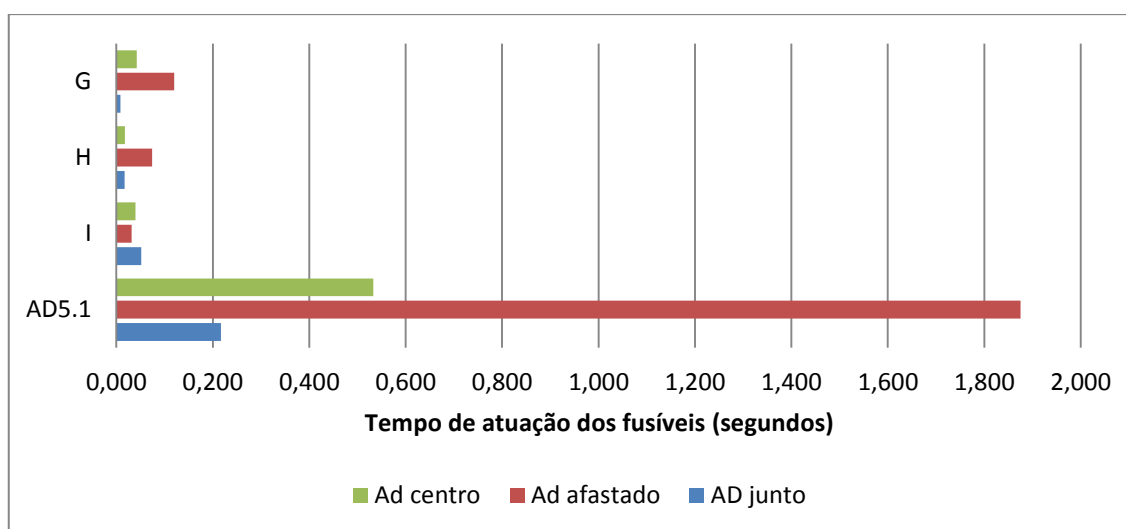


Figura 4.40 - Tempo de atuação dos fusíveis da saída 5 (soluções 3.1, 3.2 e 3.3).

No que diz respeito à localização dos AD's, as evidências encontradas para todas as outras saídas são também visíveis neste caso, não sendo necessário qualquer tipo de análise.

#### 4.3.3.1 - Conclusões

Localização do PT:

A partir dos resultados obtidos, tal como acontecia para a condição de queda de tensão, a solução recomendada para localização do PT é colocá-lo no centro de carga das potências a alimentar.

Localização do AD:

Pelos resultados obtidos, existem duas soluções recomendadas para a localização dos AD's: AD localizado junto do PT ou junto do AD a montante ou o AD localizado no centro de carga das potências alimentadas por este.

## 4.4 - Análise sob o ponto de vista económico

### 4.4.1 - Introdução

Depois de realizadas as análises sob o ponto de vista técnico iremos agora analisar a vertente económica de diferentes soluções. Como habitualmente são diferentes entidades a suportar o custo inicial e custo de exploração, serão analisadas as melhores soluções para cada uma das situações.

Normalmente o responsável pela execução da obra é quem suporta o investimento inicial e é assim seu objetivo minimizar este custo. Neste caso não é considerado o custo de exploração, suportado habitualmente pela entidade exploradora da instalação, o que faz com que os custos de investimento sejam os que realmente interessam estudar neste tipo de abordagem. Este tipo de abordagem coloca em causa a sustentabilidade da instalação visto que os custos de exploração são custos reais e que em muitas das situações ultrapassam os custos de investimento fazendo com que as opções tomadas não sejam as mais benéficas em longo prazo.

Em Portugal a empresa exploradora das RDBT's, EDP, criou um conjunto de normas relativamente aos cabos a serem usados na rede de modo a evitar o tipo de abordagem puramente técnica por parte do responsável da execução da obra. São indicados um conjunto de cabos normalizados que terão de ser utilizados em determinadas situações. Trata-se de uma abordagem para o aumento da sustentabilidade, mas que ainda não é a mais favorável para algumas das situações como iremos ver mais a frente.

Relativamente à análise que foi feita do ponto de vista económico, é necessário realçar que as soluções encontradas foram anteriormente testadas sob o ponto de vista técnico, sendo, portanto viáveis e possíveis de serem usadas como soluções reais.

Não será efetuado um estudo económico relativamente à localização do PT, sob o ponto de vista técnico, o PT localizado no centro de cargas das potências a alimentar apresentava melhores resultados comparativamente com as outras soluções desenvolvidas. No que diz respeito à localização dos armários foram testadas várias soluções desenvolvidas.

Ao variar a posição dos AD'S obtêm-se diferentes comprimentos de canalizações que alteram não só as condições técnicas da rede bem como os aspetos económicos. A escolha dos cabos é também um fator muito importante na sustentabilidade económica da rede visto que será necessário que exista uma relação entre custo de investimento inicial e custo de exploração para que se possa garantir uma maior sustentabilidade económica.

Foram desenvolvidas soluções que permitem retirar conclusões do ponto de vista económico relativamente à localização dos AD's, tipo de cabo e sua secção assim como o número de anos de duração da instalação. Para cada uma das soluções são apresentados os valores de custo de investimento inicial, custo de exploração e custo total.

## Encargos de investimento inicial

No investimento inicial estão presentes os custos de mão de obra e dos seguintes equipamentos:

- Cabo;
- Aparelho de Proteção;
- Armário distribuição;
- Câmaras de visita;
- Posto de transformação;
- Tubagem;

Antes de analisarmos as soluções geradas, são apresentadas algumas considerações que relacionam cada um dos custos iniciais com a configuração da rede:

- O cabo a usar tem um valor orçamental de €/m, o que implica maiores custos para maiores comprimentos de canalização. Relativamente aos preços, estes aumentam com a secção;
- O aparelho de proteção terá que ter um calibre superior à corrente de serviço que percorre a canalização e o seu preço também aumenta com o calibre, logo o custo é minimizado escolhendo o calibre do fusível imediatamente superior ao valor da corrente de serviço que cumpra as condições técnicas;
- Os AD's têm um valor considerável nas RDBT's e não contando com o valor do PT, os AD's apresentam a maior fatia do custo de investimento inicial da obra, sendo por isso um fator muito importante no estudo económico. Torna-se necessário usar o mínimo número de AD's;
- As câmaras de visita estão relacionadas com o número de AD's, e, portanto ao diminuirmos o número de armários diminuimos as câmaras de visita;
- O PT é o elemento da rede com custo mais elevado e, portanto terá de ser realizado um estudo cuidadoso sobre qual a melhor opção a usar. Terá que ser feita uma relação entre número e potências dos PT's a usar e os seus valores orçamentais;
- A tubagem é utilizada para os ramais e travessias e, portanto teremos um menor custo de tubagem quanto menor for o comprimento dos ramais e das travessias;
- O valor da mão de obra, abertura e tapamento de vala incluindo o fornecimento de areia, rede e fita para sinalização, está relacionado com o comprimento das canalizações, isto porque o valor orçamental é dado em €/m, logo quanto maior for o comprimento as canalizações maior custo teremos de mão de obra;

## Encargos de Exploração

O custo de exploração consiste no custo das perdas da rede, isto é, como os cabos apresentam todos os eles uma resistência, existem perdas de EE. Estas perdas traduzem-se em custos, custo esses que não são suportados pelos clientes da rede, mas sim pela empresa exploradora.

O custo de exploração diminui com a resistência do cabo ao contrário do que acontece com o custo inicial. Facilmente se percebe que a solução ideal considerando apenas custos de

exploração, seria usar o cabo com menor resistência possível, o que implicaria a escolha do cabo com maior secção.

#### 4.4.2 - Soluções de escolha de cabos: Análise Económica

A primeira análise baseia-se na relação entre o número de anos de duração da instalação e os diferentes critérios de escolhas de cabos. Com o PT no centro de carga e com os AD's colocados junto do PT ou junto do AD a montante variou-se o número de anos de duração da instalação para todas as saídas. De referir que os cabos usados são os normalizados pela EDP para redes de distribuição subterrâneas. Relativamente à secção foi escolhida a secção mínima que respeita as condições técnicas da rede. No que diz respeito ao calibre do fusível foi escolhido o calibre existente imediatamente superior à corrente de serviço.

Foram desenvolvidas três soluções para escolha de cabos:

- Solução Técnica, onde o cabo escolhido é aquele que satisfazendo as condições técnicas da rede apresenta menor secção.
- Solução EDP, onde o cabo escolhido é aquele, dentro dos cabos normalizados pela EDP para redes de distribuição subterrânea, que satisfazendo as condições técnicas da rede apresenta menor secção.
- Solução Económica, onde o cabo escolhido é aquele que é indicado como secção económica.

As soluções consideradas para escolha de cabos são agora analisadas para diferentes tempos de vida da instalação (10, 25 e 50 anos):

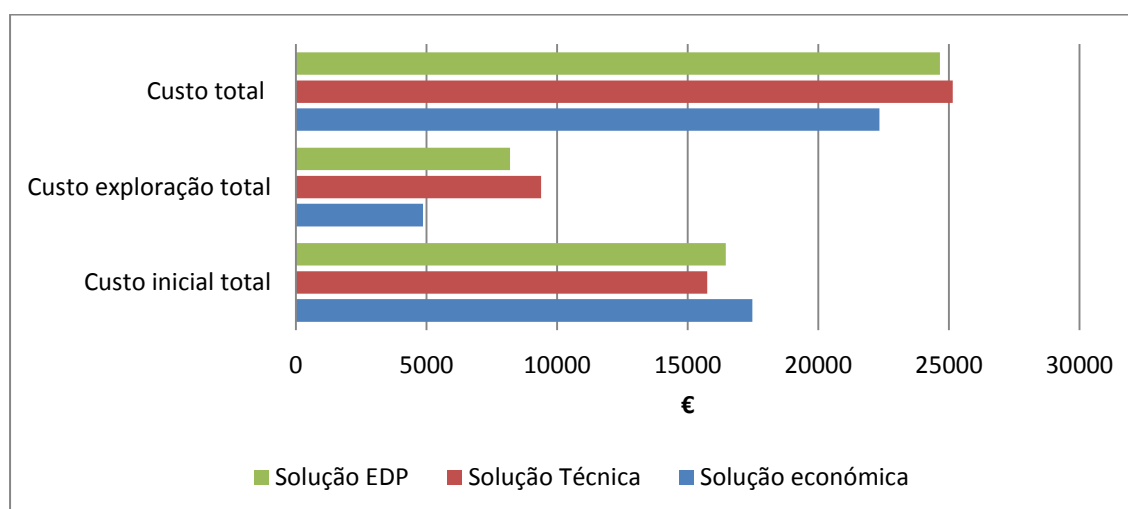


Figura 4.41 - Custos para a saída 1 referente a 10 anos de duração da instalação.

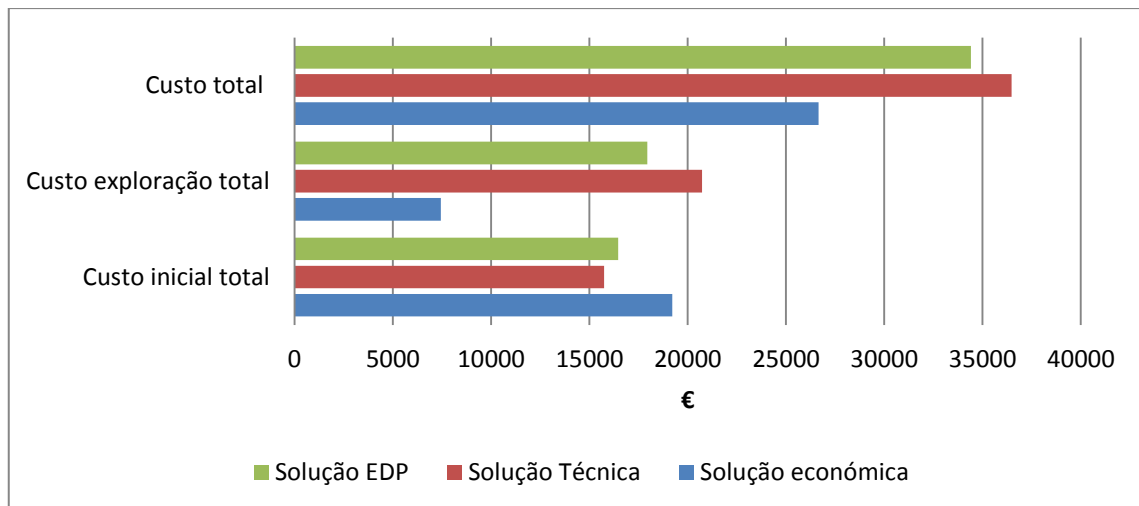


Figura 4.42 - Custos para a saída 1 referente a 25 anos de duração da instalação.

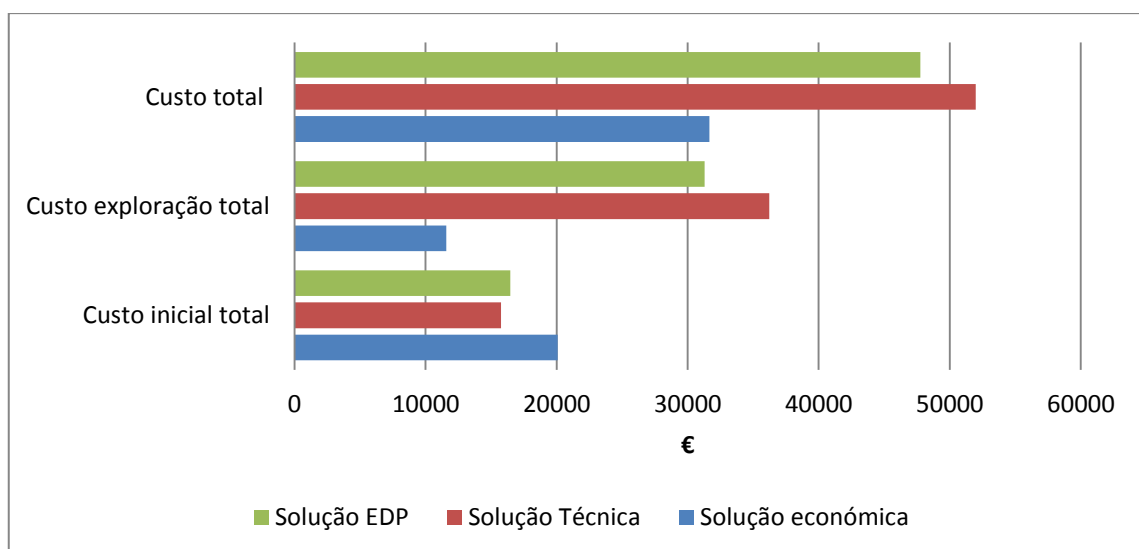


Figura 4.43 - Custos para a saída 1 referente a 50 anos de duração da instalação.

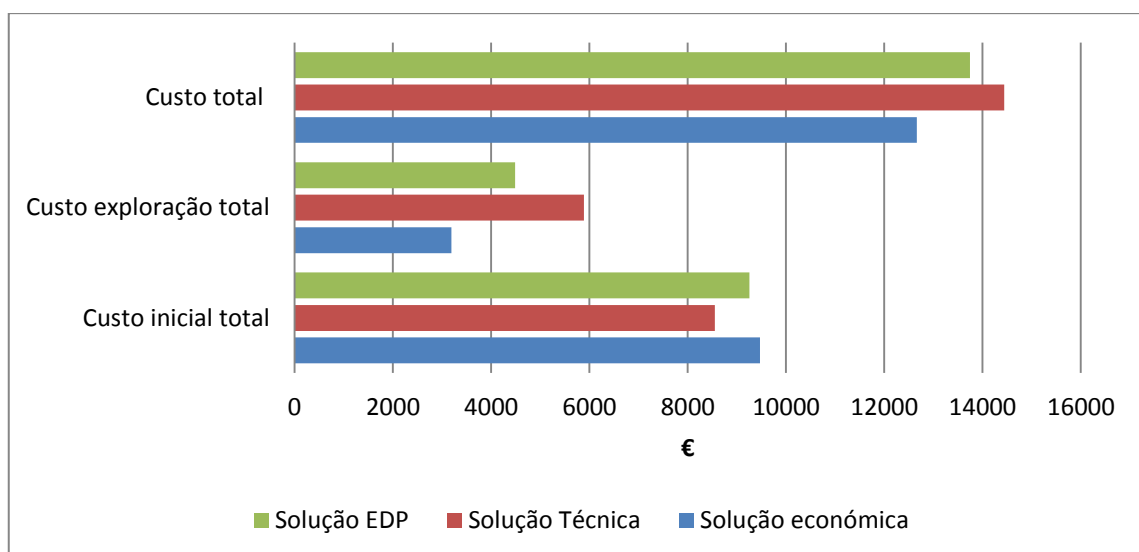
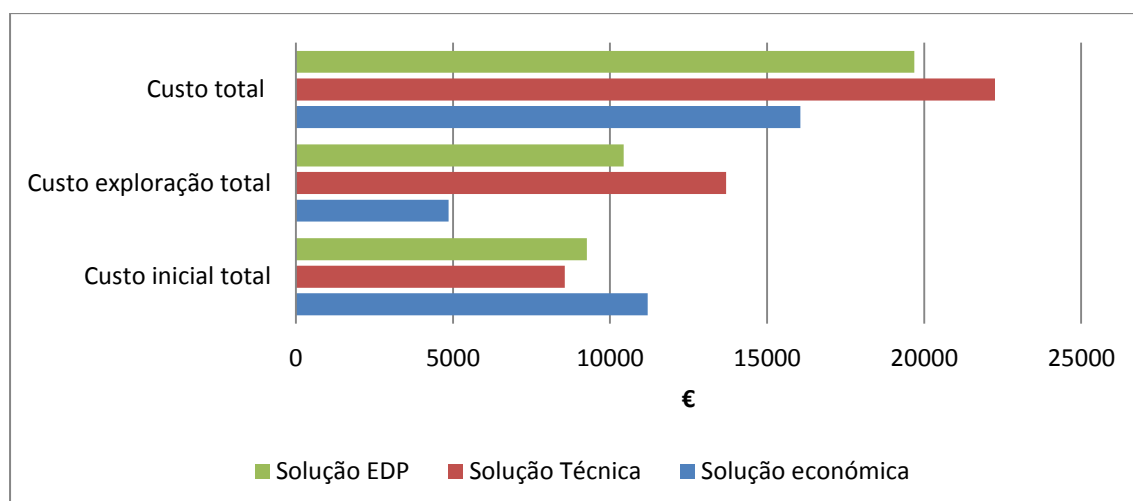
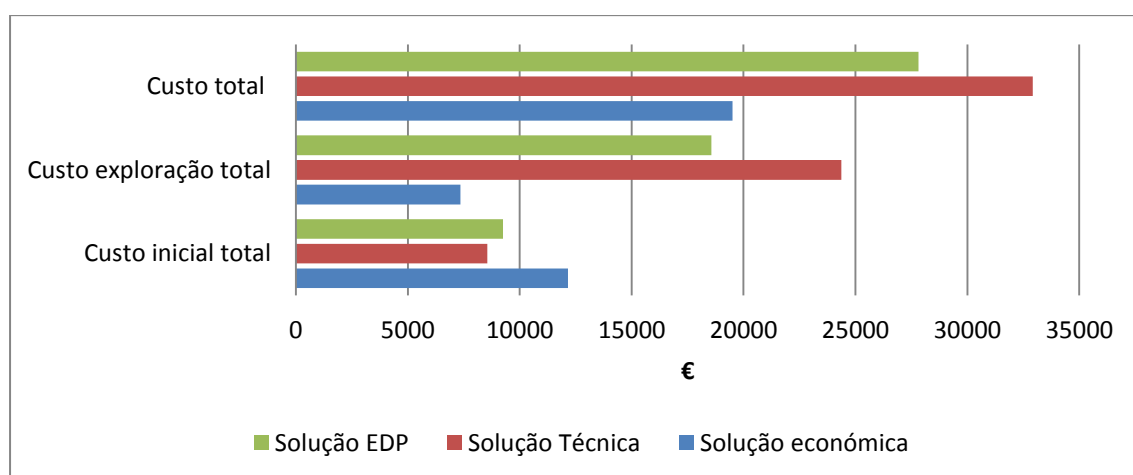


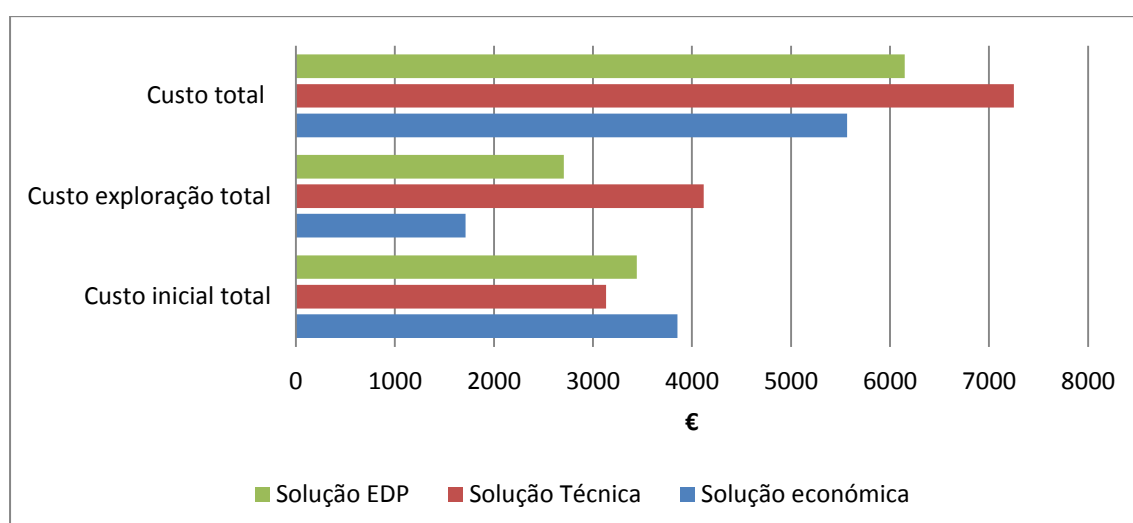
Figura 4.44 - Custos para a saída 2 referente a 10 anos de duração da instalação.



**Figura 4.45** - Custos para a saída 2 referente a 25 anos de duração da instalação.



**Figura 4.46** - Custos para a saída 2 referente a 50 anos de duração da instalação.



**Figura 4.47** - Custos para a saída 3 referente a 10 anos de duração da instalação.



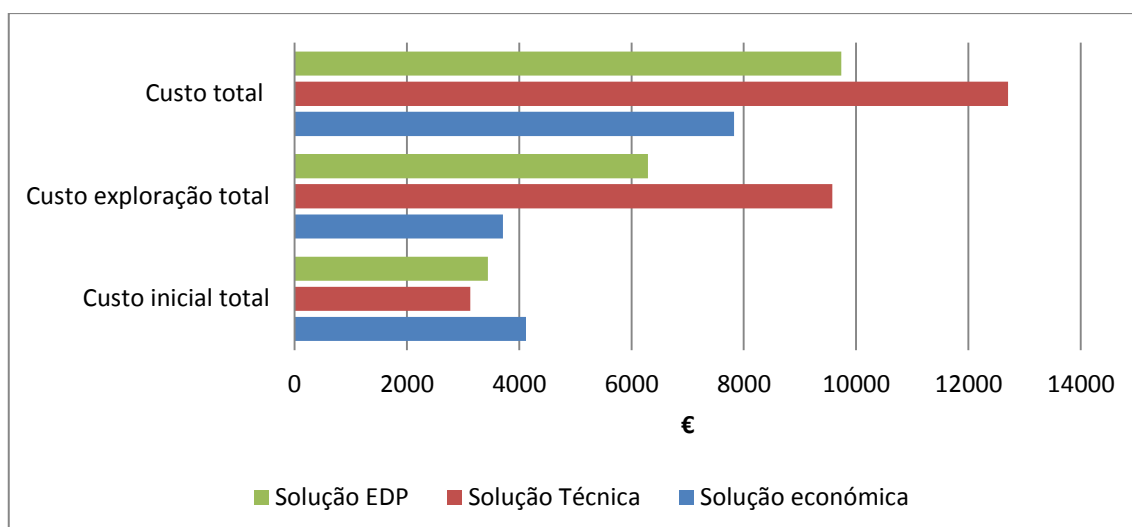


Figura 4.48 - Custos para a saída 3 referente a 25 anos de duração da instalação.

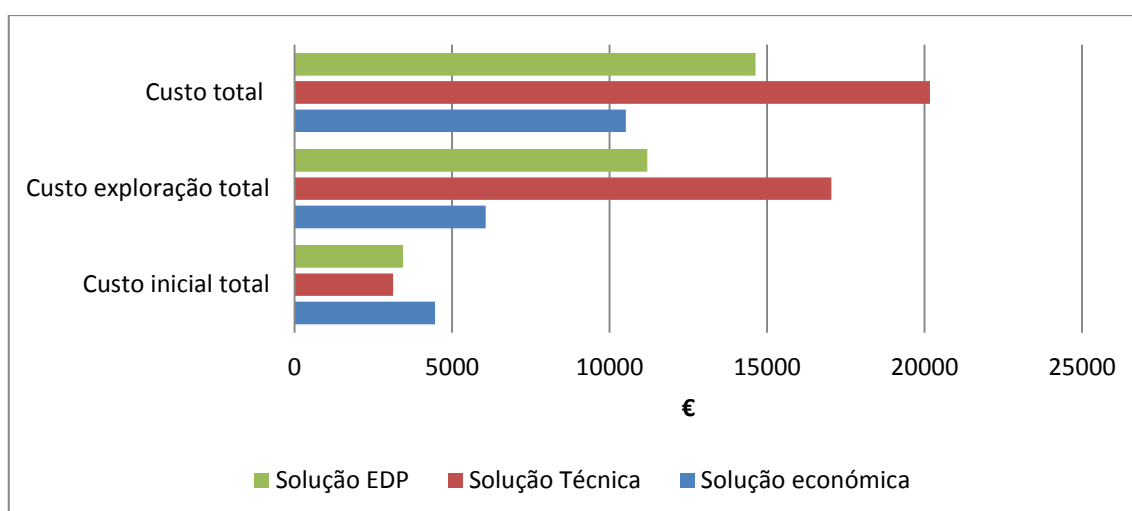


Figura 4.49 - Custos para a saída 3 referente a 50 anos de duração da instalação.

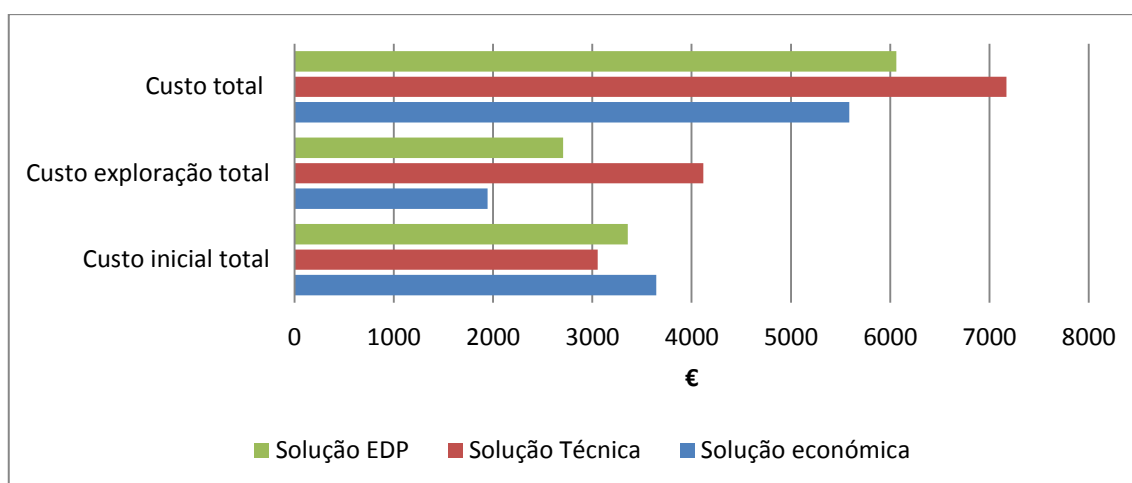
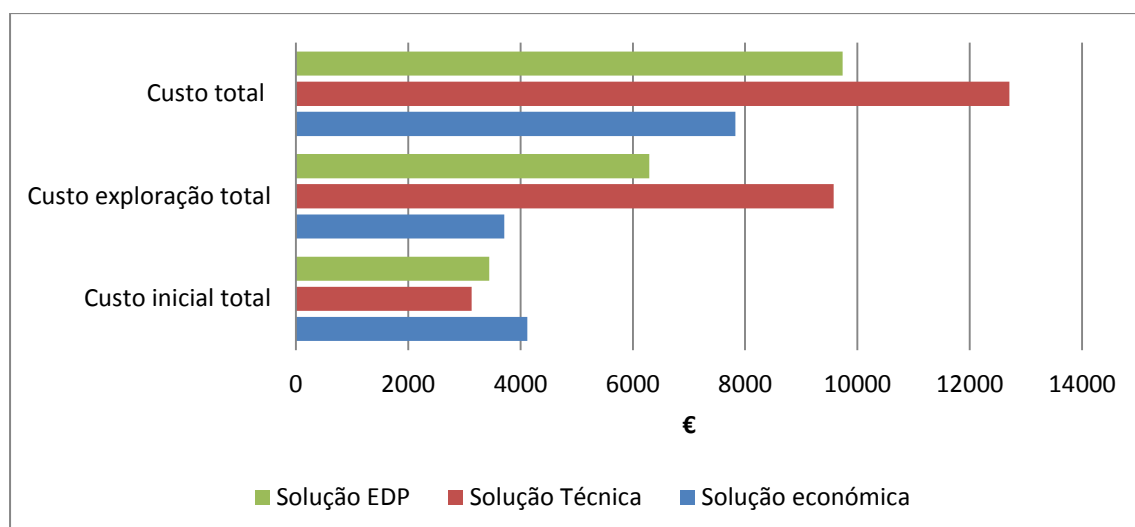
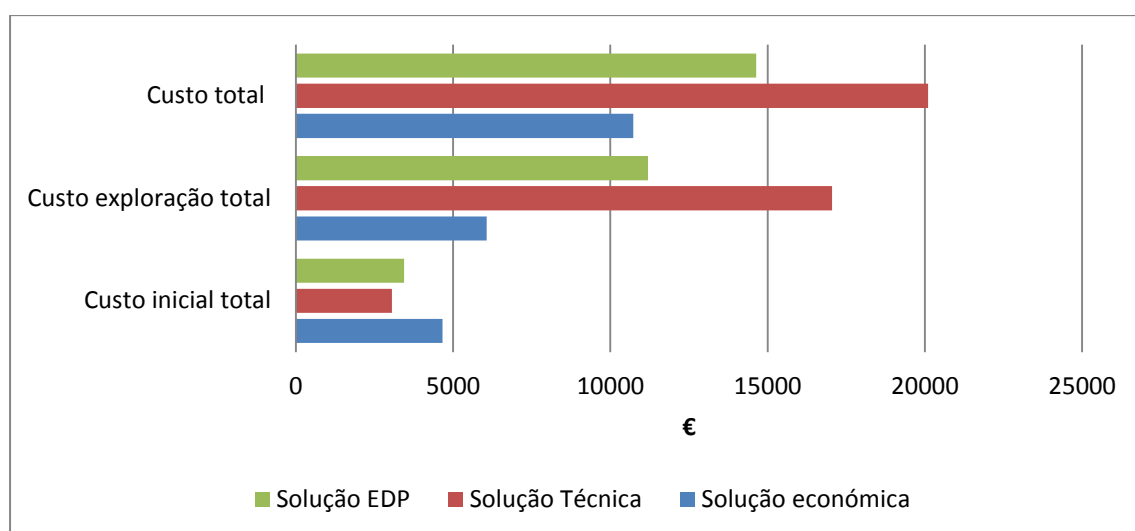


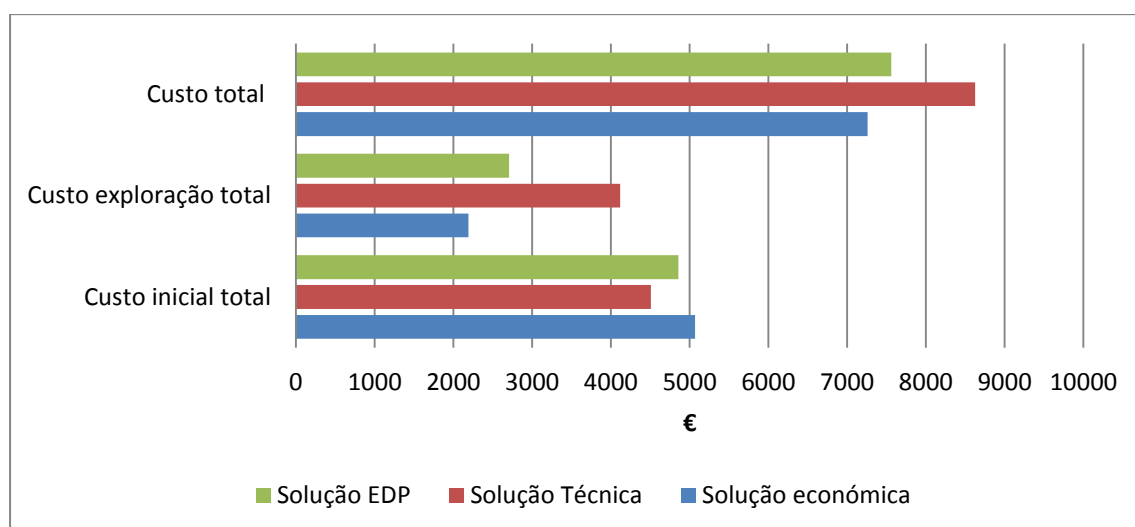
Figura 4.50 - Custos para a saída 4 referente a 10 anos de duração da instalação.



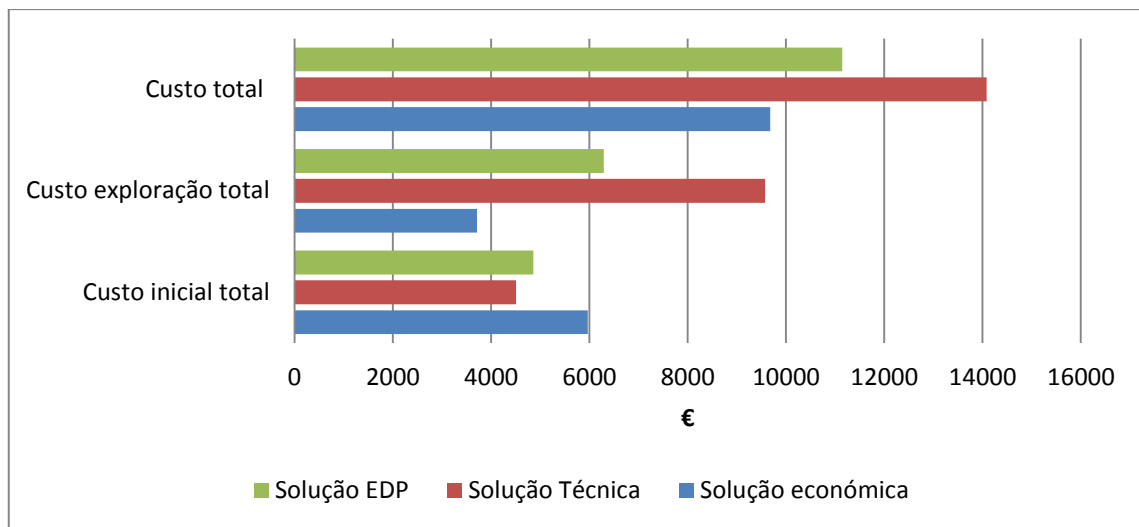
**Figura 4.51** - Custos para a saída 4 referente a 25 anos de duração da instalação.



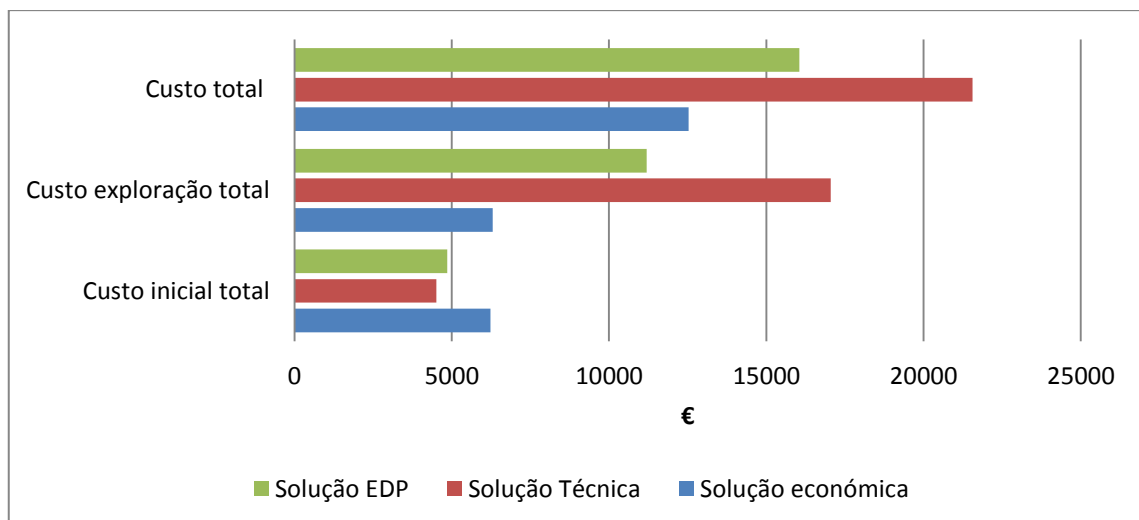
**Figura 4.52** - Custos para a saída 4 referente a 50 anos de duração da instalação.



**Figura 4.53** - Custos para a saída 5 referente a 10 anos de duração da instalação.



**Figura 4.54** - Custos para a saída 5 referente a 25 anos de duração da instalação.



**Figura 4.55** - Custos para a saída 5 referente a 50 anos de duração da instalação.

A análise económica que se pretende realizar tem como objetivo retirar conclusões gerais para serem aplicadas a qualquer projeto de redes de distribuição de BT e, portanto será feita uma descrição geral do dimensionamento realizado e não de cada saída em particular.

Nos três gráficos apresentados, para cada uma das saídas, que diferem apenas no número de anos de duração da instalação, verifica-se que ambos apresentam semelhanças em vários aspetos:

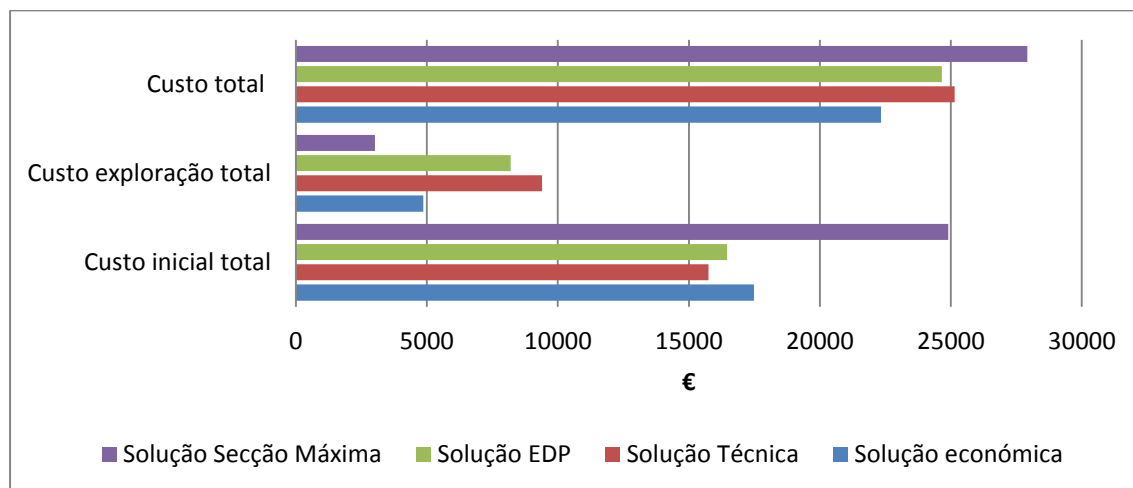
- A solução técnica é a que apresenta menor custo inicial total, maior custo de exploração total e maior custo total.
- A solução económica é a que apresenta maior custo inicial total, menor custo de exploração total e menor custo total.
- Relativamente à solução da EDP esta apresenta valores entre as duas soluções descritas no que diz respeito aos três custos.

É visível através das várias figuras apresentadas, que o custo inicial total se mantém constante ao longo dos diferentes anos de duração da instalação para todas as soluções, visto que o investimento inicial é realizado no ano zero, ou seja, no momento de construção da RDBT. O custo de exploração total aumenta para todas as soluções com o aumento dos anos de duração da instalação, o que faz com que o custo total, a soma dos dois custos descritos anteriormente, seja também maior.

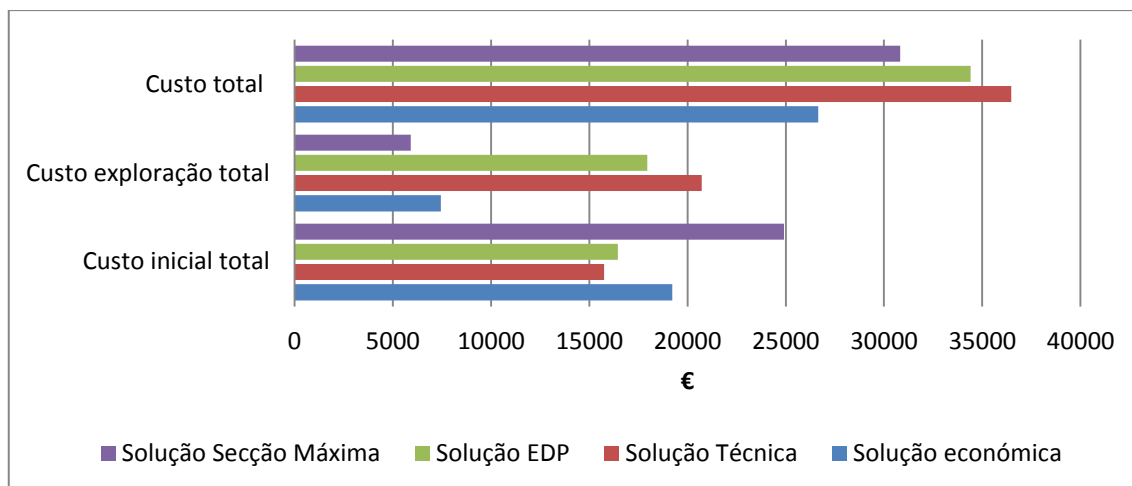
A observação pertinente a retirar dos gráficos baseia-se na diferença do crescimento do custo de exploração total para as três soluções. É visível que o custo de exploração total para a solução técnica e solução da EDP cresce consideravelmente com o aumento dos anos de duração da instalação, enquanto que esse custo para a solução económica cresce de forma relativamente moderada.

Se para 10 anos de duração da instalação a solução económica já seria a indicada, para 25 e 50 anos essa solução é ainda mais vantajosa. Conclui-se assim que apesar do investimento inicial ser superior às duas restantes soluções, pois apresenta cabos com maior secção e consequentemente mais caros, a solução económica é a mais indicada do ponto de vista de sustentabilidade económica da rede. Tal como já foi referido o aumento da secção faz que a resistência do cabo diminua e consequentemente as perdas são menores o que faz com que os custos de exploração sejam menores. Este fato torna-se mais importante quando a duração do tempo da instalação é consideravelmente grande.

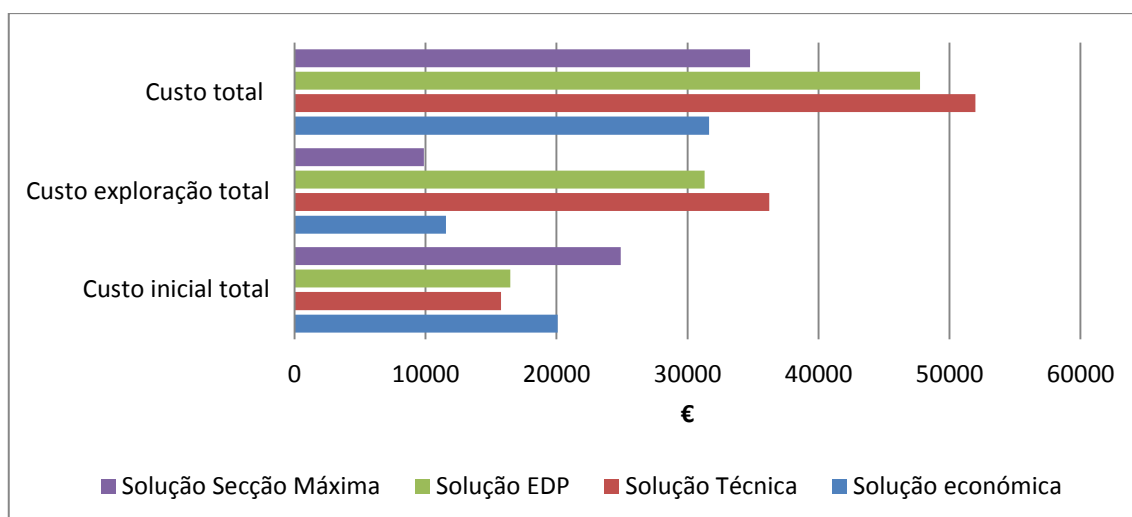
Apesar de que foi referido no parágrafo anterior, colocar o cabo com maior secção possível não significa a opção mais sustentável do ponto de vista económico. Nos próximos gráficos é apresentado mais um critério para escolha de cabos, denominado como “Solução Secção Máxima”. Este critério consiste na escolha do cabo com maior secção possível para todas as canalizações.



**Figura 4.56** - Custos para a saída 1 referente a 10 anos de duração da instalação.



**Figura 4.57** - Custos para a saída 1 referente a 25 anos de duração da instalação.



**Figura 4.58** - Custos para a saída 1 referente a 50 anos de duração da instalação.

A partir das figuras 4.56, 4.57 e 4.58, é visível que a nova solução considerada apresenta resultados interessantes. A solução analisada neste caso apresenta nas três figuras, correspondentes aos diferentes anos de duração da instalação, o maior custo inicial total, o menor custo de exploração total e relativamente ao custo total é o maior para 10 anos e o 2º menor para 25 e 50 anos.

Para 10 anos o custo total é maioritariamente composto pelo custo inicial total visto que o custo de exploração para 10 anos não é tão acentuado como no caso de 25 e ainda menos acentuado no caso de 50 anos. Para 25 e 50 anos os custos de exploração aumentam consideravelmente no caso da solução EDP e da solução técnica o que faz com que a solução secção máxima se torne melhor solução do que estas duas.

De salientar que a solução económica continua a ser a melhor solução para os três tempos de duração da instalação estudados. Pode-se afirmar que provavelmente para um tempo de duração da instalação de 100 anos o custo total da solução económica e da solução secção máxima seriam muito semelhantes, ou até os mesmos.

Apresenta-se a partir da tabela 4.3, 4.4 e 4.5 os custos das diferentes soluções para os vários tempos de vida da instalação (soma dos custos de todas as saídas):

Tabela 4.3 - Custos totais utilizando a solução técnica.

Designação	Solução Técnica		
Nº de anos da instalação	10	25	50
Custo inicial (€)	35004	35004	35004
Custo exploração (€)	27639	63154	98818
Custo total (€)	62643	98159	133823

Tabela 4.4 - Custos totais utilizando a solução EDP.

Designação	Solução EDP		
Nº de anos da instalação	10	25	50
Custo inicial (€)	37377	37377	37377
Custo exploração (€)	20801	47253	83445
Custo total (€)	58177	84630	120822

Tabela 4.5 - Custos totais utilizando a solução económica.

Designação	Solução económica		
Nº de anos da instalação	10	25	50
Custo inicial (€)	39526	44676	47588
Custo exploração (€)	13895	23428	37356
Custo total (€)	53422	68104	84944

Das tabelas 4.3, 4.4 e 4.5 verifica-se que os valores apresentados são os valores totais de custos do dimensionamento em estudo, logo as conclusões retiradas serão apoiadas de forma ainda mais consistente pelo quadro anterior.

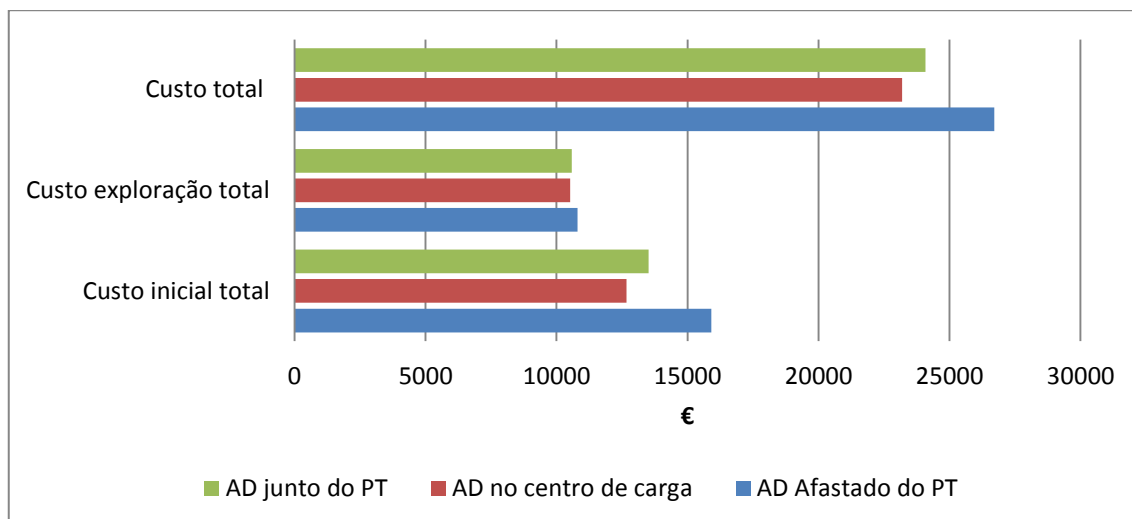
É de salientar que os valores indicados são obtidos através dos preços de material fornecidos para este estudo. Naturalmente, com outros preços de material, estes valores não serão os mesmos. Interessa ainda assim referir que este estudo não tem como objetivo obter conclusões sobre valores orçamentais, mas sim encontrar sugestões relativamente a soluções de localização dos elementos da RDBT.

#### 4.4.3 - Soluções de localização dos AD's: Análise Económica

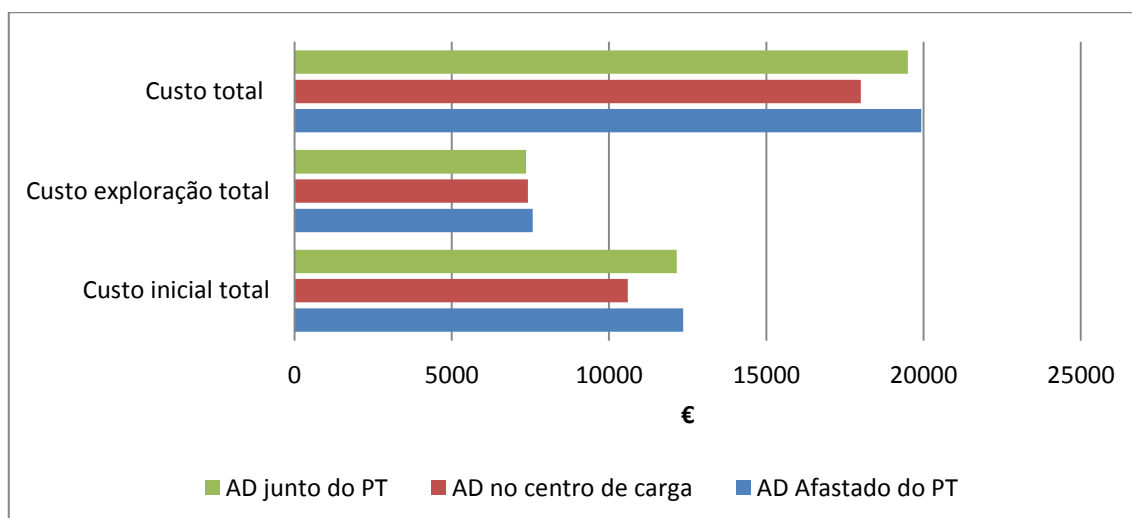
A segunda análise baseia-se nas diferentes localizações dos AD's. Com o PT no centro de carga e para uma duração de anos da instalação de 50 anos fez-se variar a localização dos AD's usando os três diferentes critérios de escolha de cabos descritos anteriormente.

#### 4.4.3.1 - Solução de escolha de cabos: Solução Económica

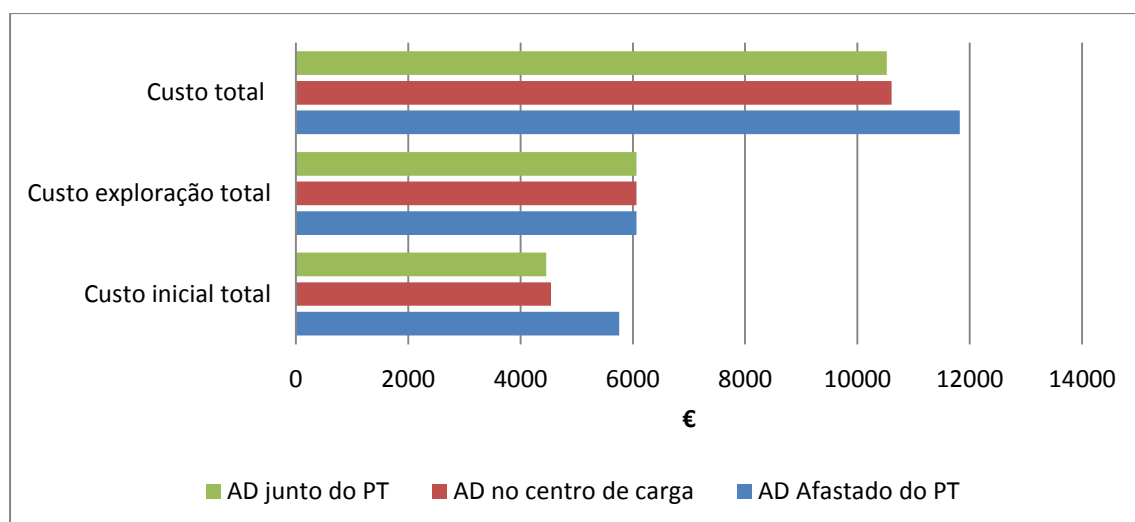
As figuras apresentadas de seguida demonstram a análise económica relativamente aos diferentes tipos de solução de localização de AD's, usando a solução económica relativamente à escolha de cabos.



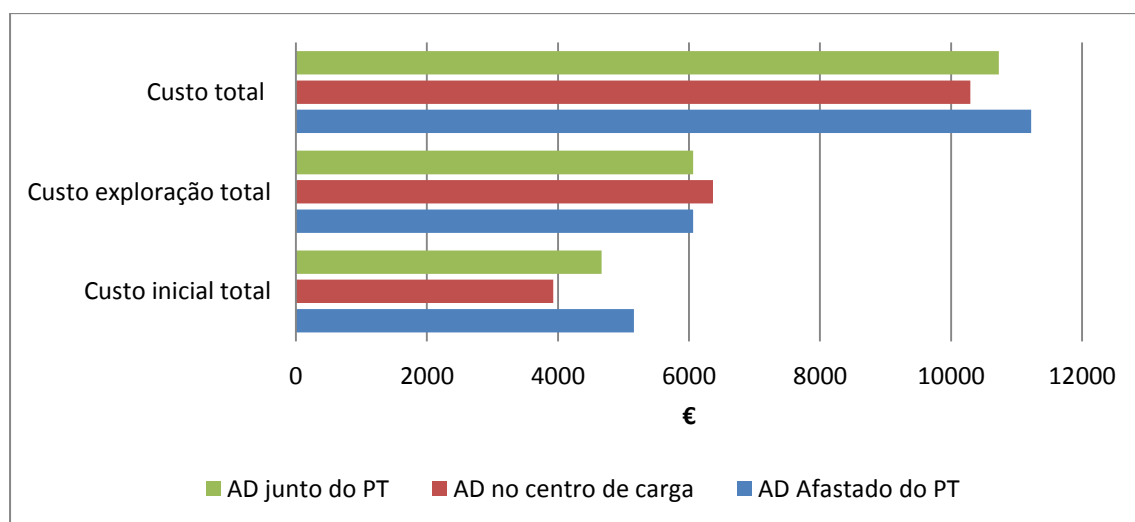
**Figura 4.59** - Custos para a saída 1 utilizando a solução económica.



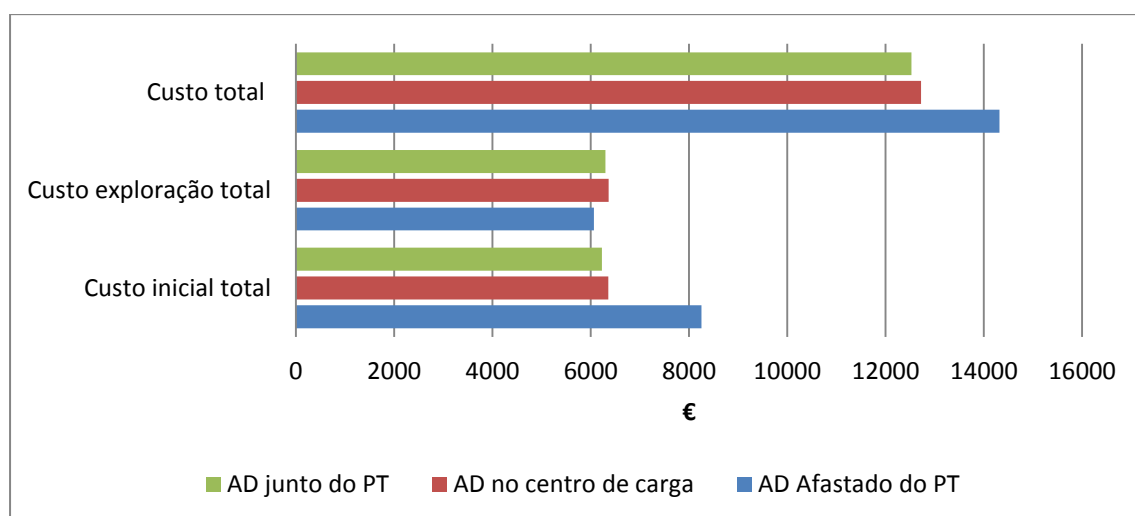
**Figura 4.60** - Custos para a saída 2 utilizando a solução económica.



**Figura 4.61** - Custos para a saída 3 utilizando a solução económica.



**Figura 4.62** - Custos para a saída 4 utilizando a solução económica.



**Figura 4.63** - Custos para a saída 5 utilizando a solução económica.



Mais uma vez existe um ponto em comum em todas as figuras, relativamente ao custo total, onde a solução de colocar o AD afastado do PT ou afastado do AD a montante apresenta os custos mais elevados e, portanto, à imagem do que acontecia para a condição técnica de queda de tensão será uma hipótese a ser descartada na maior parte das situações.

No que diz respeito às outras soluções, tanto uma como outra apresentam resultados muito semelhantes sendo a solução de colocar o AD junto do PT ou junto do AD a montante a melhor para a saída 3 e 5 e a solução de colocar o AD no centro de carga das potências alimentar por este a melhor solução para a saída 1, 2 e 4.

Ao comparar estes gráficos com os obtidos para a queda de tensão relativamente à localização dos AD's, verifica-se que estes apresentam muitas semelhanças do que diz respeito à melhor e pior solução para cada uma das saídas. Tal seria de esperar visto que a queda de tensão está diretamente relacionada com perdas, que por sua vez está diretamente ligado a custos de exploração, custo esses que influenciam de forma explícita o custo total, que por sua vez dita economicamente qual a melhor opção.

#### 4.4.3.2 - Solução de escolha de cabos: Solução Técnica

As figuras apresentadas de seguida demonstram novamente a análise económica relativamente aos diferentes tipos de solução de localização de AD's, usando agora solução técnica relativamente à escolha de cabos.

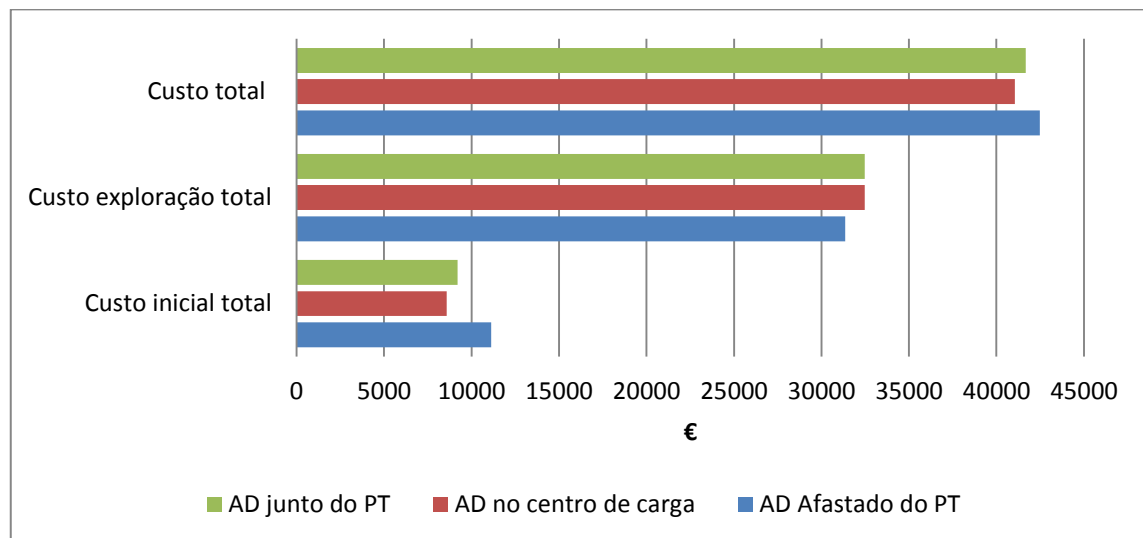
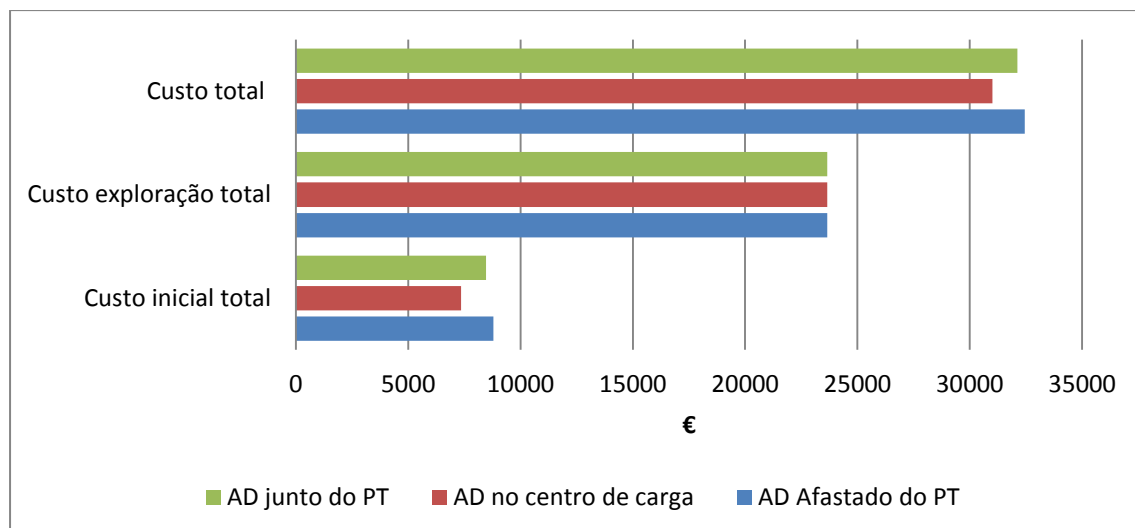
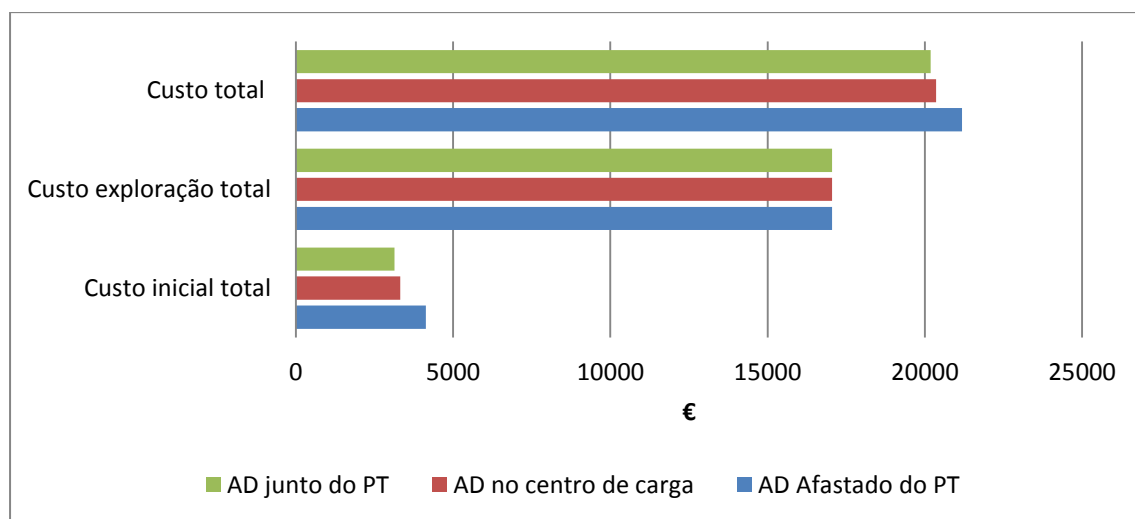


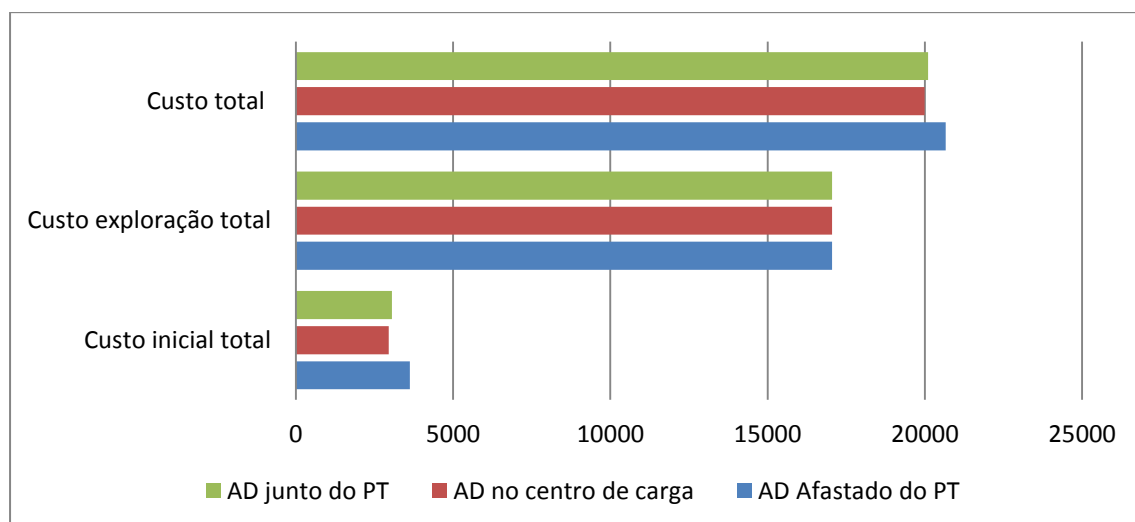
Figura 4.64 - Custos para a saída 1 utilizando a solução técnica.



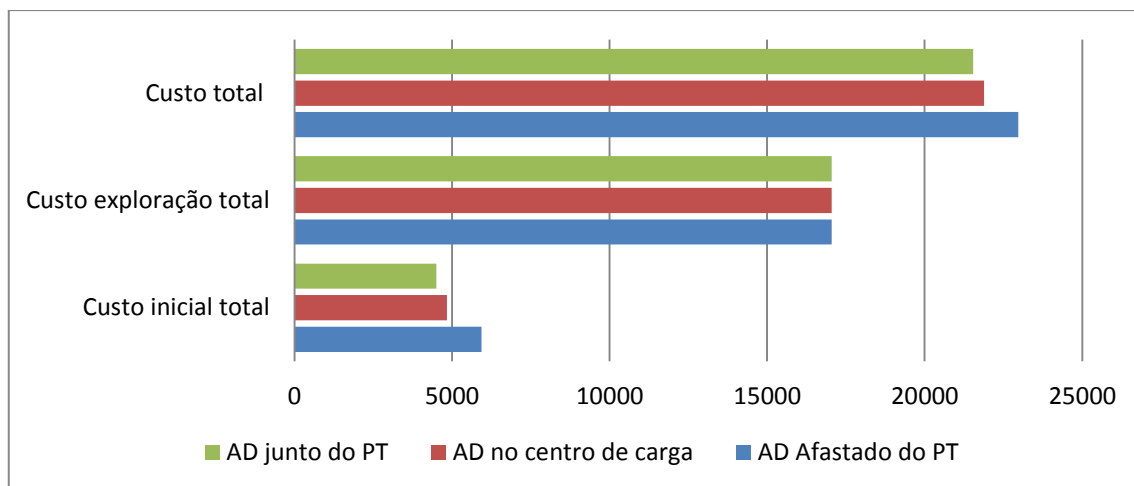
**Figura 4.65** - Custos para a saída 2 utilizando a solução técnica.



**Figura 4.66** - Custos para a saída 3 utilizando a solução técnica.



**Figura 4.67** - Custos para a saída 4 utilizando a solução técnica.

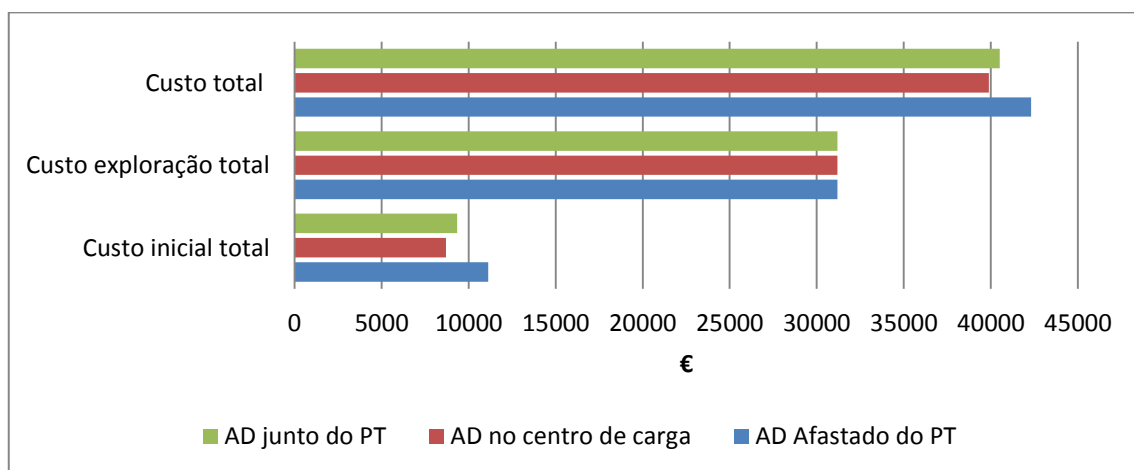


**Figura 4.68** - Custos para a saída 5 utilizando a solução técnica.

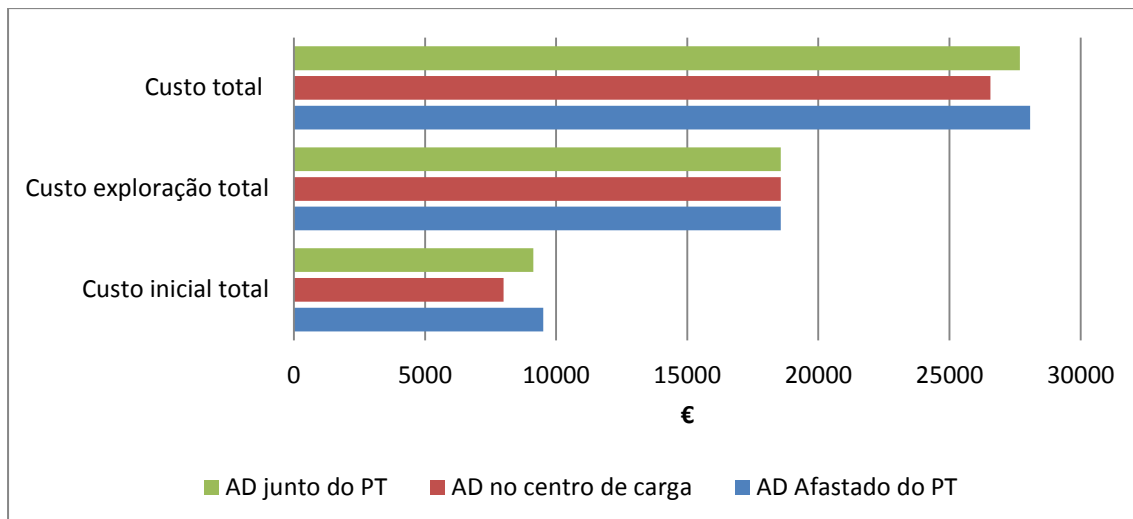
O objetivo de se realizar diferentes análises económicas relativamente à localização dos AD's alterando a solução de escolha dos cabos é perceber se alterando essa escolha, os resultados sobre qual a melhor e a pior solução para cada situação varia. Através das figuras apresentadas para a solução técnica percebe-se que apesar das diferenças de valores entre os variados custos comparativamente à solução económica as melhores e piores soluções continuam a ser exatamente as mesmas. Este fato deve-se fundamentalmente aos custos de exploração, isto porque optando pela solução técnica, ao variar a localização dos AD's não implica na maior parte das situações alterar a secção do cabo, o que faz com que custos de exploração sejam os mesmos, contribuindo para os diferentes custos totais apenas os diferentes custos iniciais. De salientar que as diferenças referidas devem-se fundamentalmente aos comprimentos dos cabos, visto estes terem a mesma secção para as diferentes soluções.

#### 4.4.3.3 - Solução de escolha de cabos: Solução EDP

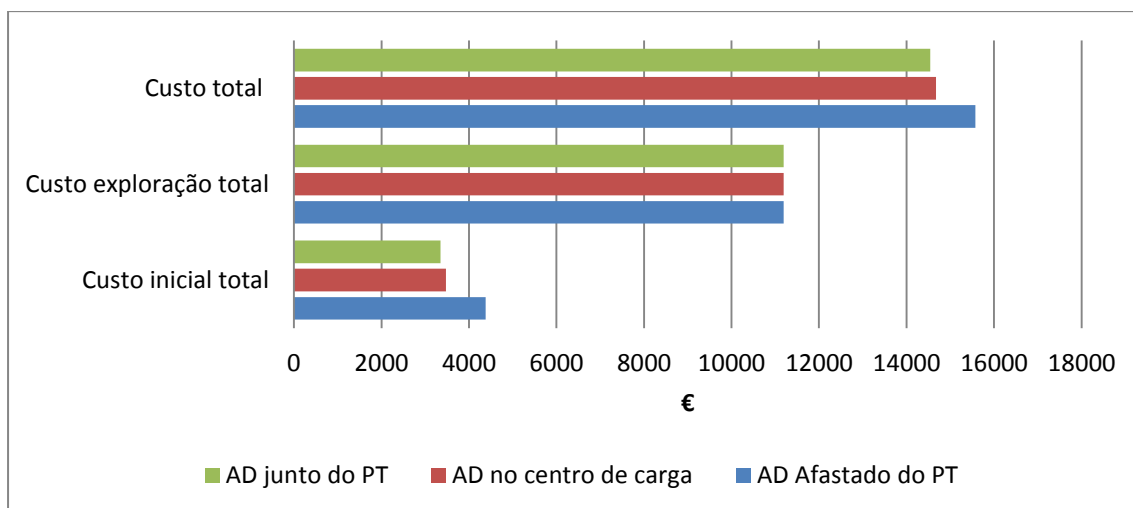
Finalmente, a análise económica relativamente aos diferentes tipos de solução de localização de armários, usando desta vez a solução EDP relativamente à escolha de cabos.



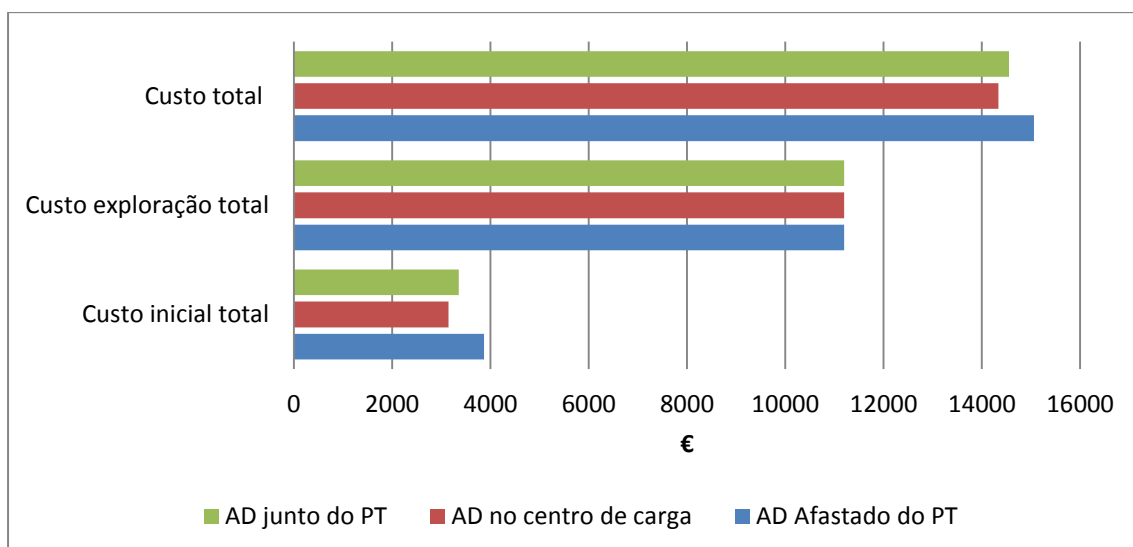
**Figura 4.69** - Custos para a saída 1 utilizando a solução EDP.



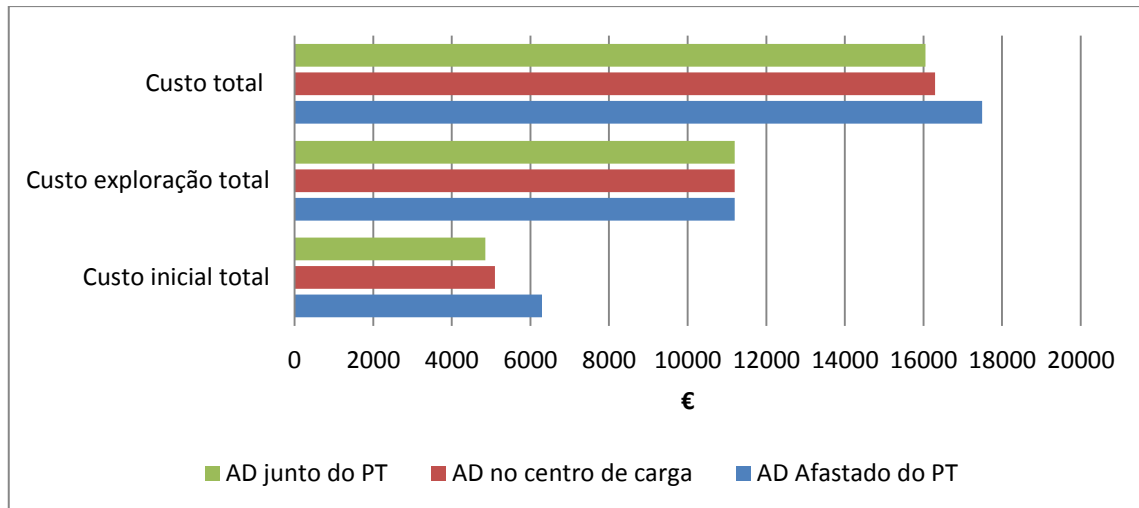
**Figura 4.70** - Custos para a saída 2 utilizando a solução EDP.



**Figura 4.71** - Custos para a saída 3 utilizando a solução EDP.



**Figura 4.72** - Custos para a saída 4 utilizando a solução EDP.



**Figura 4.73** - Custos para a saída 5 utilizando a solução EDP.

Mais uma vez os resultados indicam como melhor e pior solução económica as mesmas soluções dos casos anteriores. Os resultados obtidos indicam que a melhor solução relativamente à localização dos AD's não varia com a solução escolhida no que diz respeito à seleção de cabos.

A tabela 4.6 apresenta um resumo dos custos totais de todas as saídas para as diferentes soluções de localização de AD's e de escolha de cabos.

**Tabela 4.6** - Relação de custo entre soluções de escolha de cabos e localização de AD's.

Custos totais (€)	AD junto	AD centro de carga	AD afastado
<b>Soluções económicas</b>	77378	74832	84002
<b>Soluções técnicas</b>	135630	134805	139753
<b>Soluções EDP</b>	113358	111755	118520

Para todas as soluções de escolha de cabos, a solução de localização do AD no centro de cargas das potências alimentadas por este é a solução mais económica, apesar da solução de localização do AD junto do PT ou junto do AD a montante não apresentar valores muito diferentes. Os resultados apontam como hipótese a descartar a solução de colocar o AD afastado do PT ou afastado do AD a montante.

#### 4.4.4 - Conclusões

##### Localização do PT:

Pelos resultados obtidos, a solução recomendada para a localização do PT é colocá-lo no centro de carga das potências a alimentar. Quando o PT é afastado do seu centro de carga, além da maior parte das canalizações aumentarem o seu comprimento, também a queda de tensão irá ser mais elevada na maior parte destas, o que faz com que os custos de exploração sejam maiores. Esse afastamento do centro de carga provoca um aumento de custos, que torna esse tipo de solução menos vantajosa economicamente.

De salientar que a solução recomendada é a mesma para plano técnico e para o plano económico, concluindo-se que quanto melhor forem satisfeitas as condições técnicas, melhores serão os resultados a nível económico.

#### Localização do AD:

Pelos resultados obtidos, a solução recomendada para a localização dos AD's é colocar o AD no centro de carga das potências alimentadas por este. De referir que a solução de colocar o AD junto do PT ou junto do AD a montante não apresenta resultados muito diferentes. Numa outra urbanização com outro tipo de localização e valores de potência das cargas a solução poderia ser diferente da obtida para este caso.

#### Solução de escolha de cabos:

A solução recomendada, pelos resultados obtidos, é a solução económica, apresentando relativamente às duas outras opções valores orçamentais mais baixos.







# Capítulo 5

## Conclusões

### 5.1 - Principais Contribuições da Dissertação

No passado, o projeto das RDBT's atendia essencialmente às condições técnicas regulamentares. Ou seja, os custos de exploração não eram tomados em consideração, o que levava à construção de redes mal planeadas e ineficientes.

Devido ao crescimento exponencial de consumo de energia nas últimas décadas, o estudo sobre o uso e localização dos vários elementos que constituem as RDBT's e o impacto que estes têm economicamente nas empresas exploradoras da rede é algo que deve ser considerado.

Atualmente, em que a contenção de custos assume uma importância crescente no planeamento e exploração das RDBT's, torna-se importante a existência de uma ferramenta de apoio ao projetista.

Com o estudo realizado, pretendeu-se desenvolver uma aplicação de apoio ao projetista, que possa servir como base no planeamento das RDBT's. Contudo, ao longo das várias soluções desenvolvidas, é possível concluir que não é possível generalizar um conjunto de melhores soluções, visto as características de cada RDBT ditarem qual a melhor solução possível. Sem a aplicação desenvolvida neste estudo, esse trabalho torna-se complexo, pois são imensas as soluções que podem ser testadas. Através da aplicação, é possível de forma relativamente rápida chegar à melhor solução para cada uma das RDBT's.

Apesar de em Portugal a EDP Distribuição ter criado um conjunto de normas para as RDBT's, o presente estudo mostra que existem ainda soluções mais rentáveis a explorar.

### 5.2 - Desenvolvimentos Futuros

A metodologia desenvolvida procura alcançar uma “boa solução”, naturalmente com o contributo do projetista. Ao longo do desenvolvimento da aplicação de apoio ao projeto das RDBT's, a principal dificuldade surgiu no âmbito do reconhecimento da estrutura da urbanização. Torna-se assim necessário a incorporação na aplicação de uma rotina que faça um melhor reconhecimento da planta da urbanização, visto que uma RDBT é construída em função da sua estrutura (estradas, passeios, jardins, etc). Por fim, para diminuir ainda mais o

tempo de teste de soluções, seria útil uma rotina que devolvesse a melhor solução para cada RDBT de forma automática.

# Referências

- [1] “Rede de distribuição de energia”. *EDP - Energias de Portugal*. Disponível em [http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/prevencaoese\\_seguranca2/seg\\_fornecedores/Pages/Re de.aspx](http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/prevencaoese_seguranca2/seg_fornecedores/Pages/Re de.aspx). Acesso em 28/Setembro/2012.
- [2] “Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão”, *Ministérios da Indústria e Energia e do Equipamento Social*, Decreto Regulamentar nº90/84 de 26 de Dezembro.
- [3] Santos, J. N., “Etapas do projeto”, Janeiro 2010.
- [4] “DIT-C11-010/N - Guia técnico de Urbanizações”, *EDP-Distribuição, SA*, Novembro de 2010.
- [5] “DIT-C14-100N - Ligação de clientes baixa tensão”, *EDP-Distribuição, SA*, Maio de 2007.
- [6] Saraiva, J. T., “Dimensionamento e Protecção de Canalizações de Baixa Tensão” Setembro de 2000.
- [7] Santos, J. N., “Secção económica”.
- [8] Santos, J. N., “Tabela de Fatores de Correção”.
- [9] “Regras Técnicas de Instalações Eléctricas de Baixa Tensão”, Portaria N.º 949-A/2006 de 11 de Setembro.



# Anexo A

## Aplicação de Apoio ao Projeto das RDBT's

### Manual do utilizador

#### I. Apresentação

A aplicação de apoio ao planeamento da RDBT foi desenvolvida para simplificar o dimensionamento da RDBT e respetiva análise económica, contribuindo, deste modo, para que este processo se torne mais simples, rápido e sustentável.

A aplicação foi criada com recurso às ferramentas do *Microsoft Office Excel 2010*, disponível no pacote *Microsoft Office*, pois as funções desempenhadas pelo programa satisfazem perfeitamente as necessidades da aplicação.

**Nota:** Apenas devem ser alteradas as células referentes aos dados de entrada do utilizador.

#### II. Etapas da aplicação

Nesta secção são designados os *inputs* do utilizador, isto é, todos os passos necessários para obtenção do dimensionamento da RDBT e respetiva análise técnica e económica.

##### 1. Definição do número de Instalações de Utilização e seu destino; atribuição de potências máximas admissíveis a cada instalação.

Foi criada uma tabela, apresentada na figura A.1, onde o utilizador deverá colocar os dados relativos às instalações de utilização. Os dados a ser inseridos são os seguintes:

- **Descrição da instalação:** inserir um número ou uma letra, de forma a poder identificar a instalação (Ex: 1, A, 1A).
- **Potência da instalação:** inserir a potência contratada da instalação (KVA).

- **Coordenadas da instalação:** inserir a localização geográfica da instalação, inserindo a coordenada x e coordenada y da instalação (Ex: 241,6). Estes valores podem ser obtidos no programa de desenho AUTOCAD.
- **Número de habitações, serviços comuns e edifícios comerciais:** inserir o número de habitações, serviços comuns e edifícios comerciais da instalação de utilização (Ex: N<sup>o</sup> de Habitações: 12)
- **Potência total de habitações, serviços comuns e edifícios comerciais:** inserir a potência de habitações (HAB), serviços comuns (SC) e estabelecimentos comerciais (EC) da instalação de utilização. Todas as potências inseridas deverão estar na unidade KVA. (Ex: Potência das Habitações: 13.8).

**Nota:** Uma vez que é necessário um ramal independente para cada edifício comercial, pertencendo a um edifício coletivo, é necessário que cada estabelecimento comercial seja inserido na tabela de forma independente. É de salientar que as coordenadas do estabelecimento comercial e do edifício coletivo serão as mesmas.

Descrição	Potência (KVA)	Coordenadas		Centro de carga		Nº de HAB	Nº de SC	Nº de EC	Potência de HAB (KVA)	Potência de SC (KVA)	Potência de EC (KVA)
		x	y	x	y						
1	13,8	152,5	311,95	2104,5	4304,91	1	0	0	13,8	0	0
2	13,8	161,08	311,95	2222,904	4304,91	1	0	0	13,8	0	0
3	13,8	169,44	311,95	2338,272	4304,91	1	0	0	13,8	0	0
4	13,8	179,05	311,95	2470,89	4304,91	1	0	0	13,8	0	0
5	13,8	185,23	311,95	2556,174	4304,91	1	0	0	13,8	0	0
6	13,8	194,28	311,95	2681,064	4304,91	1	0	0	13,8	0	0
7	13,8	152,49	276,25	2104,362	3812,25	1	0	0	13,8	0	0
8	13,8	160,34	276,25	2212,692	3812,25	1	0	0	13,8	0	0
9	13,8	168,83	276,25	2329,854	3812,25	1	0	0	13,8	0	0
10	13,8	178,81	276,25	2467,578	3812,25	1	0	0	13,8	0	0
11	13,8	186,68	276,25	2576,184	3812,25	1	0	0	13,8	0	0
12	13,8	194,72	276,25	2687,136	3812,25	1	0	0	13,8	0	0
13	13,8	202,96	276,25	2800,848	3812,25	1	0	0	13,8	0	0
14	13,8	210,96	276,25	2911,248	3812,25	1	0	0	13,8	0	0
15	13,8	220,13	276,25	3037,794	3812,25	1	0	0	13,8	0	0

Figura A. 1 - Tabela de Dados da Urbanização.

## 2. Cálculo das Potências da Urbanização.

Após a introdução dos dados referidos no ponto 1 é disponibilizado um quadro resumo do conjunto de valores introduzidos pelo utilizador. Neste quadro, a figura A.2, está representada a potência total necessária para alimentar a urbanização, calculada de forma automática pela aplicação.

Potência (KVA)		
Habitações	Serviços comuns	Edifícios Comerciais
1825,05	0	0
Nº total Habitações		
152	0	0
Fator de simultaneidade Habitações	Fator de simultaneidade Serviços comuns	Fator de simultaneidade E.Comerciais
0,264888568	0	0
Potência total urbanização (KVA)		
1825,05		
Potência total necessária (KVA)		
483,4348819		

Figura A. 2- Quadro informativo da potência da urbanização.

### 3. Definição do número de PT's e primeira estimativa das potências estipuladas.

Nesta etapa o utilizador terá de seleccionar a *potência dos PT's* através de caixas de combinação, com as potências existentes para o PT.

**Nota:** A soma das potências seleccionadas para os PT's terá que ser superior à potência total necessária apresentada no passo anterior. Em baixo da tabela apresentada na figura A.3 são apresentadas duas células, uma que indica se a potência escolhida é suficiente e outra que indica o valor da reserva. Existe ainda uma nota presente no quadro que indica qual o valor de reserva indicado.

Designação	Escolha do PT	% de potência total a distribuir pelo PT	Cargas alimentar	Potência total (KVA)	% atual de potência	Preço
PT1	250	50%	1 a 38 e A a I e 58 a 62	1825,05	100%	26.251,00 €
PT2	250	50%			0%	26.251,00 €
PT3		0%			0%	- €
PT4		0%			0%	- €
PT5		0%			0%	- €
PT6		0%			0%	- €
PT7		0%			0%	- €
PT8		0%			0%	- €
PT9		0%			0%	- €
Potência suficiente?			S/M	Valor total		
Valor de reserva			3%	52.502,00 €		

Nota: O valor de reserva deverá estar entre os 15 e os 25 %

Figura A. 3 - Tabela de escolha dos PT's.

É possível observar através da figura A.3 que para todos os PT's seleccionados, existe um valor orçamental disponibilizado, para que o utilizador no momento de seleccionar os PT's possa ter uma ideia de qual a melhor solução a nível económico.

### 4. Divisão da urbanização em áreas de influência de todos os PT's.

Nesta etapa o utilizador terá que definir quais as potências a serem alimentadas pelos diferentes PT's. Para fazer a divisão da urbanização em áreas de influência é necessário escolher o PT e posteriormente escolher as cargas que este irá alimentar. Atente à figura A.4, onde a primeira caixa de combinação permite a seleção do PT. Abaixo existem várias caixas de combinação que o utilizador terá de seleccionar as instalações de utilização que o PT irá alimentar.

Designação	Potência				
PT1	250				

Designação	Potência	Coordenada x	Coordenada y	Centro de carga	
1	13,8	152,5	311,95	2104,5	4304,91
2	13,8	161,08	311,95	2222,904	4304,91
3	13,8	169,44	311,95	2338,272	4304,91
4	13,8	179,05	311,95	2470,89	4304,91
5	13,8	185,23	311,95	2556,174	4304,91
6	13,8	194,28	311,95	2681,064	4304,91
7	13,8	152,49	276,25	2104,362	3812,25
8	13,8	160,34	276,25	2212,692	3812,25
9	13,8	168,83	276,25	2329,854	3812,25
10	13,8	178,81	276,25	2467,578	3812,25
11	13,8	186,68	276,25	2576,184	3812,25
12	13,8	194,72	276,25	2687,136	3812,25
13	13,8	202,96	276,25	2800,848	3812,25
14	13,8	210,96	276,25	2911,248	3812,25
15	13,8	220,13	276,25	3037,794	3812,25

Figura A. 4 - Tabela de seleção do PT e das potências a serem alimentadas por este.

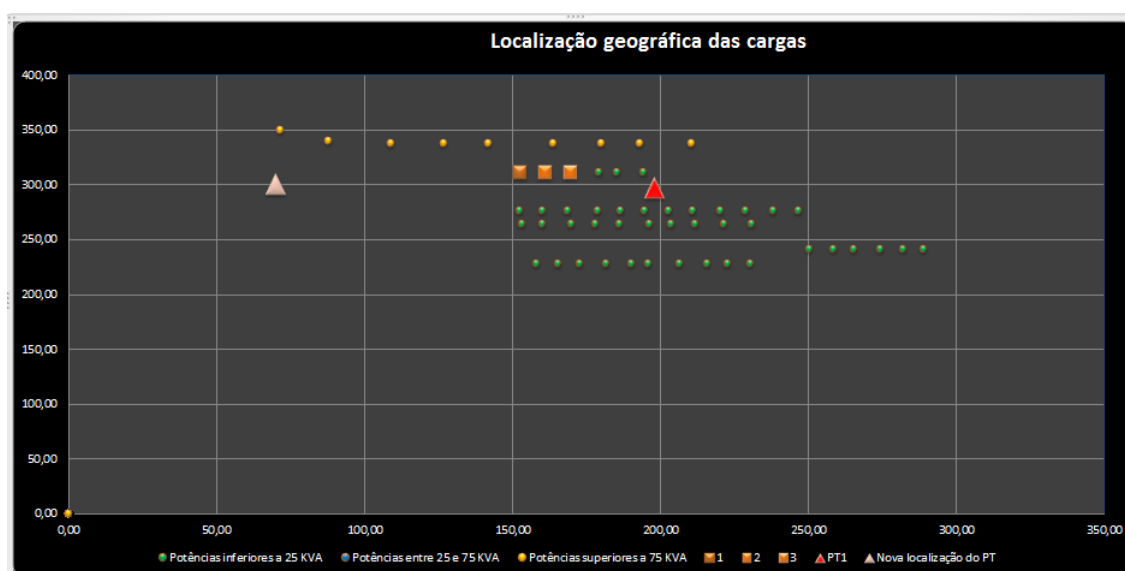
Depois de selecionadas as cargas, é disponibilizada uma pequena tabela onde é apresentado a potência total atual (soma de todas as cargas selecionadas) e potência total do PT. Existe ainda uma coluna que demonstra a percentagem de potência a ser alimentada pelo PT em questão e aquela que deverá ser alimentada pelo mesmo.

	Potência total (KVA)	% de potência a ser alimentada
Atual	976,35	53%
PT1	630	100%

**Nota: Os dois valores percentuais da tabela devem ser o mais próximos possíveis**

**Figura A. 5 - Percentagem de potência que o PT deve fornecer.**

Através do gráfico apresentado na figura A.6, o utilizador poderá visualizar o posicionamento geográfico do PT e das cargas selecionadas.



**Figura A. 6 - Localização geográfica de cargas para divisão da urbanização em área de influência de todos os PT's.**

5. Implantação dos PT's tendo em conta, por um lado, a rede MT já existente, por outro, a proximidade com as cargas BT e, por outro, ainda, restrições várias como facilidade de acessos, proximidade com vias públicas, etc.

Cálculo dos Centros de Cargas dos PT's e, eventual, ajuste das localizações de acordo com o enunciado na etapa anterior.

Nesta etapa é apresentado um quadro onde é calculado, com base nos dados de entrada fornecidos pelo utilizador, o centro de carga do PT. Existem duas células para que o utilizador possa introduzir as **novas coordenadas do PT** caso este não possa ficar localizado no centro de carga calculado. Posteriormente, o utilizador terá de selecionar através da caixa de combinação, presente no quadro, qual será a **localização do PT**.



Soma das Potências		
Habitções (KVA)	Serviços comuns (KVA)	Edifícios Comerciais (KVA)
1825,05	0	0
Centro de carga PT		Potência Total (KVA)
$\Sigma$	$\Sigma$	1825,05
160,1109074	316,9349338	
100	60	Nova localização do PT
Centro de carga do PT		
Nº total Habitções	Nº total de Serviços comuns	Nº total de E.Comerciais
152	0	0
Fator de simultaneidade Habitções	Fator de simultaneidade Serviços comuns	Fator de simultaneidade E. Comerciais
0,264888568	0	0
6		
Potencia total necessária do PT (KVA)		
483,4348819		

Figura A. 7 - Quadro de localização do PT.

- Para todos os PT's, definir o número de saídas, com base na potência estipulada do mesmo.

O utilizador deverá definir o *número de saídas do PT* através da caixa de combinação representada na figura A.8. Uma vez selecionado o número de saídas, é indicado o valor de potência recomendado que cada saída deverá alimentar.

PT escolhido (KVA)	Nº de saídas	Potencia estimada por saída (KVA)
630	6	105

Figura A. 8 - Escolha do número de saídas.

- Para cada PT subdividir a parte da urbanização que ele alimenta, em áreas de influência por cada Saída (Canalização Principal), procurando equilíbrio de potências e/ou de comprimentos entre as várias Saídas.

O utilizador poderá a partir de um gráfico visualizar quais as potências que serão alimentadas pela respetiva saída. Nesse gráfico as potências estão identificadas por diferentes cores para diferentes níveis de potência. O utilizador poderá, assim, identificar as cargas com maior e menor potência, facilitando a divisão das mesmas por cada saída a dimensionar.

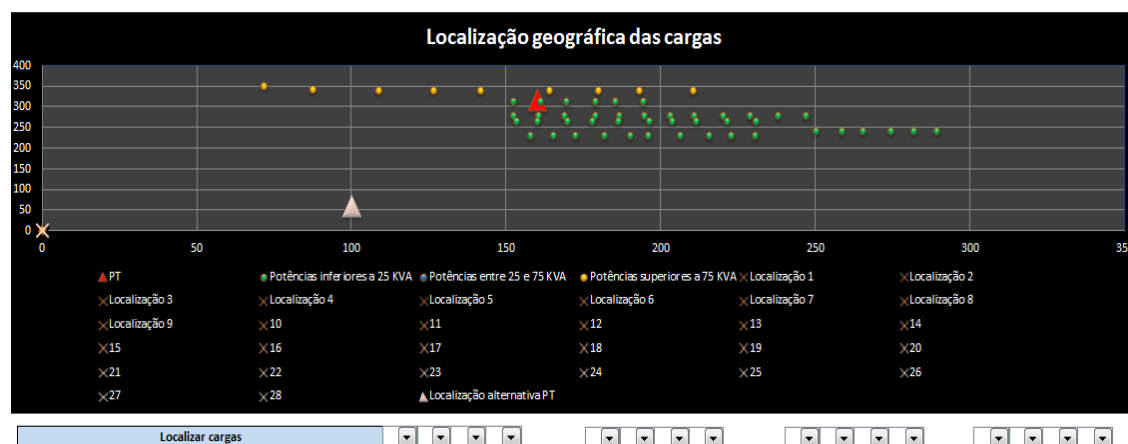


Figura A. 9 - Localização geográfica de cargas para definir saídas.

Através das **caixas de combinação apresentadas abaixo do gráfico** visíveis na figura A.9, o utilizador deverá seleccionar as cargas que a saída irá alimentar. Ao seleccionar as cargas estas serão assinaladas no gráfico.

**Nota:** Tal como é visível na imagem A.10, as caixas de combinação estão agrupadas quatro a quatro, visto que de cada AD poderão divergir no máximo quatro ramais. O utilizador terá de proceder da seguinte forma na escolha das potências que pretende alimentar:

- ***Na primeira caixa de combinação dentro de cada grupo de quatro, escolher a instalação de utilização mais próxima do PT ou mais próxima do AD a montante, se previamente já existir um AD.***
- ***Na segunda caixa de combinação dentro de cada grupo de quatro, escolher a instalação de utilização mais afastada do PT ou mais afastada do AD a montante, se previamente já existir um AD.***
- ***Na terceira e quarta caixa de combinação escolher as duas restantes instalações de utilização a serem alimentadas pelo AD. Neste caso não é necessário escolher segundo uma ordem específica.***

As indicações supracitadas permitem que no momento de escolher as potências a alimentar por um respetivo AD, a aplicação possa definir, de imediato, as coordenadas do respetivo AD para as várias soluções possíveis de localização.

À medida que as cargas vão sendo selecionadas, existe uma grelha de auxílio, apresentada na figura A.10, que é atualizada de forma automática. A potência a alimentar pela saída é atualizada no momento em que as potências são selecionadas a partir das caixas de combinação. Os elementos presentes na tabela são os seguintes:

- **Saída:** designação da saída.
- **Cargas a alimentar:** definição das cargas alimentar pela respetiva saída.
- **Nº de HAB, Nº de SC, Nº de EC, Potência de HAB, Potência de SC, Potência de EC, Fator de simultaneidade de HAB, Fator de simultaneidade de SC, Fator de simultaneidade de SC, Potência total:** elementos que são todos calculados de forma automática, isto é, à medida que são selecionadas as potências, as células dos elementos referidos anteriormente são atualizadas.
- **Valor percentual por saída (% por saída):** Este valor refere-se ao valor percentual de potência que cada saída está a alimentar. Foram criados limites mínimos e máximos deste valor percentual baseado no número de saídas. Por exemplo, depois de o utilizador definir seis saídas para um PT, considerando que uma destas ficará como reserva, restam 5 saídas que alimentarão cada uma delas 20% da carga a ser alimentada pelo respetivo PT. Para ser possível conseguir exatamente o valor referido anteriormente implica que as potências a serem alimentadas pelas diferentes saídas do PT sejam exatamente iguais, o que é praticamente impossível. Por este motivo os limites criados apenas para fins indicativos são os seguintes: 5% abaixo do valor encontrado para o limite mínimo e 5% acima do valor encontrado para o limite máximo. As células que devolvem a percentagem estarão formatadas

condicionalmente com cores, apresentando cor verde se os limites estiverem dentro do recomendado ou a vermelho caso isso não se verifique.

Saída	Cargas alimentar	Nº de HAB	Nº de SC	Nº de EC	Potência de HAB (KVA)
PT1.1	1 a 18 e 58 a 63	24,00	0,00	0,00	310,50
PT1.2		20,00	0,00	0,00	241,50
PT1.3	A,B,C	36,00	0,00	0,00	424,35
PT1.4	D,E,F	36,00	0,00	0,00	424,35
PT1.5	G,H,I	36,00	0,00	0,00	424,35

PT a ser calculado		0,00	0,00	0,00	0,00
Potência recomendada					365,01

Fator de simultaneidade SC	Fator de simultaneidade EC	Potência (KVA)	% Saída	
0,00	0,00	112,80	17,94%	✓ Saída calculada
0,00	0,00	91,50	14,56%	✓ Saída calculada
0,00	0,00	141,45	22,50%	✓ Saída calculada
0,00	0,00	141,45	22,50%	✓ Saída calculada
0,00	0,00	141,45	22,50%	✓ Saída calculada

% Aconselhada de potência por saída	
Máx	Mín
15,00%	25,00%

Figura A. 10 - Grelha de apoio à definição das saídas do PT.

#### 8. Dimensionamento da rede (Canalizações Principais e, se for o caso, Ramais): secções dos cabos; calibres dos fusíveis; poder de corte dos fusíveis.

Nesta etapa o utilizador fará o dimensionamento da RDBT. Para que tal aconteça, este deve proceder a várias decisões no que diz respeito a cada canalização elétrica. É apresentada uma tabela apresentada na figura A.11, com todos os dados necessários ao dimensionamento da RDBT, calculados previamente, juntamente com várias caixas de combinação que permitirão, ao utilizador, selecionar as seguintes variáveis:

- **Designação da canalização:** o utilizador poderá escolher entre canalização principal e ramal.
- **Fim do Ramo:** o utilizador poderá escolher qual o ramal que pretende dimensionar relativamente ao AD escolhido anteriormente.
- **Tipo de alimentação:** o utilizador poderá escolher entre alimentação monofásica e alimentação trifásica da instalação.
- **Tipo de cabo:** o utilizador poderá escolher o tipo de cabo e sua secção.
- **Temperatura máxima de funcionamento e temperatura máxima de curto-circuito:** o utilizador deverá, apenas, selecionar o material e a temperatura que é indicada na mesma coluna. É de salientar que o material a selecionar deverá ser o cabo escolhido na variável anterior (Tipo de cabo). No que toca ao material da composição dos cabos, os que começam pela letra L são de alumínio e os restantes são de cobre.
- **Opção de localização do AD:** o utilizador poderá escolher entre três localizações para o AD (AD junto PT, AD afastado PT ou AD centro de carga)
- **Fatores de correção:** o utilizador terá que indicar para cada canalização três fatores de correção. Terá de indicar se o cabo se encontra **entubado**, em caso afirmativo, o

número de cabos envolvidos, a **profundidade** a que se encontra enterrado e o **número de sistemas trifásicos enterrados na mesma vala**.

- **Calibre da proteção (In):** o utilizador deverá seleccionar o **calibre da proteção** a usar para o cabo escolhido.
- **Número de anos de duração da instalação:** o utilizador poderá escolher o **número de anos** que estima que a canalização possa durar.
- **Taxa de atualização:** o utilizador terá de definir uma **taxa de atualização de juro**.

**Nota:** as duas últimas variáveis não fazem parte do dimensionamento propriamente dito, sendo apenas valores necessários para chegar à secção económica para a canalização em estudo.

Designação	Ramos						Potência (kVA)			Factores de Simultaneidade			Potência total
	Início	Fim	Número Total de Habitações	Número Total de Serviços Comuns	Número Total de Estabeleciment	Habitações	Serviços Comuns	Estabeleciment os Comerciais	Habitações	Serviços Comuns	Estabeleciment os Comerciais		
Canalização principal	PT1	AD5.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ramal	AD5.1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ramal	AD5.1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ramal	AD5.1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ramal	AD5.1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Ib (A)	Cabo											
	Tipo	Secção Fase	Secção neutro	Rf (Ω)	Rn (Ω)	Xf (Ω)	Temperatura máxima de funcionamento	Temperatura máxima de curto-circuito				
Trifásica	0,00 LSVAV 4x35 mm2 NR*	35	35	0,868	0,868	0,0783	70	Alumínio: 70	1,119	160	Alumínio 160	1,532
Trifásica	0,00 LSVAV 4x16 mm2 NR*	16	16	1,91	1,91	0,0817	70	Alumínio: 70	1,119	160	Alumínio 160	1,532
Trifásica	0,00 LSVAV 4x16 mm2 NR*	16	16	1,91	1,91	0,0817	70	Alumínio: 70	1,119	160	Alumínio 160	1,532
Trifásica	0,00 LSVAV 4X35 mm2 NR*	35	35	0,868	0,868	0,0783	70	Alumínio: 70	1,119	160	Alumínio 160	1,532
Trifásica	0,00	0	0	0	0	0	0	Alumínio: 70	1,119	0	Alumínio 160	1,532

Fatores de correção										In (A)
Iz (A)	K	Opção de localização dos armários	L (km)	L Real (Km)	Entubado	Profundidade	Nº de sistemas trifásicos enterrados na mesma vala			
130	76	AD afastado PT	0,1580		Não	Profundidade 50-60 cm	1 cabo enterrado	100	100	
90	76	0	0,0020		1 cabo entubado	Profundidade 50-60 cm	1 cabo enterrado	25	25	
90	76	0	0,0020		1 cabo entubado	Profundidade 50-60 cm	1 cabo enterrado	25	25	
130	76	0	0,0020		1 cabo entubado	Profundidade 50-60 cm	1 cabo enterrado	80	80	
0	0	0	0,0020		1 cabo entubado	Profundidade 50-60 cm	1 cabo enterrado	25	25	

Condição de Sobreaquecimento				Condição de queda de tensão				Condição de Curto-Circuito Mínima				Solução económica			
Iz' (A)	Iz<In<Iz'	If (A)	1,45 Iz'	If<1,45Iz'	ΔU (V)	ΔU Total (V)	ΔU Total (%)	ΔU<5%	Iccmin (A)	tft (s)	ta (s)	ta<tft e ta<5s	Nº de anos da instalação	Taxa de atualização	Melhor solução
132,60	SIM	160	192,27	SIM	0,000	0,000	0,00%	SIM	519,98	26,169	20,367	NÃO	50	1,00%	#DIV/0!
73,44	SIM	44	106,49	SIM	0,000	0,000	0,00%	SIM	505,89	5,778	0,048	SIM	50	1,00%	#DIV/0!
73,44	SIM	44	106,49	SIM	0,000	0,000	0,00%	SIM	505,89	5,778	0,048	SIM	50	1,00%	#DIV/0!
106,08	SIM	128	153,82	SIM	0,000	0,000	0,00%	SIM	513,48	26,836	3,373	SIM	50	1,00%	#DIV/0!
0,00	NÃO	44	0,00	NÃO	0,000	0,000	0,00%	SIM	519,98	0,000	0,043	NÃO	50	1,00%	#DIV/0!

Figura A. 11 - Tabela de dimensionamento da RDBT.

### III. Processos auxiliares

#### 1) Tabelas

As tabelas habitualmente usadas no dimensionamento foram criadas na aplicação, e podem a qualquer momento ser consultadas pelo utilizador. Poderão ainda ser alterados os valores caso o utilizador pretenda. As tabelas criadas são as seguintes:

- Temperaturas máximas a considerar para os Materiais Isolantes;
- Coeficientes de correção da resistência com a temperatura;
- Resistividade e coeficiente de termoresistividade;
- Resistência linear máxima das almas condutoras;
- Reatância linear dos cabos;
- Correntes estipuladas de fusíveis;
- Coeficiente K a usar na expressão do tempo de fadiga térmica;
- Intensidades de correntes máximas admissíveis dos cabos;
- Fatores de correção;

Para facilitar o raciocínio computacional, optou-se por organizar estas tabelas de forma diferente á qual estão dispostas nos documentos regulamentares. A título de exemplo é demonstrado uma dessas tabelas presente na folha de cálculo designada por *Tabelas* através da figura A.12.

Fatores de correção	
Factores de correcção cabos enterrados	
Numero de cabos	Fator de correção
Não	1
1 cabo entubado	0,8
2 cabos entubados	0,7
3 cabos entubados	0,62
4 cabos entubados	0,58
5 cabos entubados	0,54
6 cabos entubados	0,52
1 cabo enterrado	1
2 cabos enterrados	0,85
3 cabos enterrados	0,75
4 cabos enterrados	0,7
5 cabos enterrados	0,65
6 cabos enterrados	0,6
8 cabos enterrados	0,56
10 cabos enterrados	0,53
Profundidade 50-60 cm	1,02
Profundidade 60-80 cm	1
Profundidade 80-100 cm	0,98

Figura A. 12 - Tabelas de fatores de correção.

Existem também tabelas de preços, apresentadas na figura A.13 de material que poderão a qualquer momento ser alteradas pelo utilizador, na folha de cálculo designada por *Preços*.

TIPO	DESCRIÇÃO	PREÇO(€)	UNIDADE	FORNECEDOR
Preço dos fusíveis	NH00 FUSIVEL APC GL 10A	1,61	Unidade	Monteiro e Filho, Lda
	NH00 FUSIVEL APC GL 16A	1,61		
	NH00 FUSIVEL APC GL 20A	1,61		
	NH00 FUSIVEL APC GL 25A	1,61		
	NH00 FUSIVEL APC GL 32A	1,61		
	NH00 FUSIVEL APC GL 50A	1,61		
	NH00 FUSIVEL APC GL 63A	1,61		
	NH00 FUSIVEL APC GL 80A	1,61		
	NH00 FUSIVEL APC GL 100A	2,43		
	NH00 FUSIVEL APC GL 125A	2,43		
	NH00 FUSIVEL APC GL 160A	2,43		
	NH02 FUSIVEL APC GL 63A	4,54		
	NH02 FUSIVEL APC GL 80A	4,54		
	NH02 FUSIVEL APC GL 100A	4,54		
	NH02 FUSIVEL APC GL 125A	4,54		
	NH02 FUSIVEL APC GL 160 A	4,54		
	NH02 FUSIVEL APC GL 200 A	4,54		
	NH02 FUSIVEL APC GL 250 A	5,59		
	NH02 FUSIVEL APC GL 315 A	5,59		
	NH02 FUSIVEL APC GL 400 A	5,59		
TIPO	DESCRIÇÃO	PREÇO(€)	UNIDADE	FORNECEDOR
Armários	Tipo X	1100	Unidade	Vidropol
	Tipo W	920		
	Tipo T	980		

Figura A. 13 - Tabelas de preços de material.

## 2) Análise Queda de tensão

Ao terminar a etapa de dimensionamento o utilizador poderá seleccionar a folha de cálculo designada por *Análise de Queda de Tensão*, tendo acesso a todos os valores necessários para análise da queda de tensão da solução dimensionada, a partir da tabela apresentada na figura A.14. Para gravar a solução o utilizador deverá premir o botão **Gravar**, premindo de seguida o botão **Análise Queda de Tensão**.

Gravar

Canalização		Ib (A)	Cabo	L (Km)	Condição de queda de tensão		
Início	Fim				$\Delta U$ (V)	$\Delta U$ Total (%)	$\Delta U < 5\%$
PT1	AD1.1	162,82	LSVAV 3x185+95 mm2 NRCP*	0,03	0,90	0,39%	SIM
AD1.1	6	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,009	2,33	1,40%	SIM
AD1.1	5	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,002	0,50	0,61%	SIM
AD1.1	4	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,008	2,09	1,30%	SIM
AD1.1							
AD1.1	AD1.2	145,49	LSVAV 4x95 mm2 NRCP*	0,03	1,31	0,96%	SIM
AD1.2	1	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,010	2,44	2,02%	SIM
AD1.2	2	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,001	0,28	1,08%	SIM
AD1.2	3	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,009	2,42	2,01%	SIM
AD1.2							
AD1.2	AD1.3	127,70	LSVAV 4x95 mm2 NRCP*	0,04	1,82	1,75%	SIM
AD1.3	7	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,014	3,50	3,27%	SIM
AD1.3	8	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,006	1,48	2,40%	SIM
AD1.3	10	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,015	3,77	3,39%	SIM
AD1.3	9	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,005	1,21	2,28%	SIM
AD1.3	AD1.4	103,03	LSVAV 4x95 mm2 NRCP*	0,03	1,24	2,29%	SIM
AD1.4	11	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,013	3,37	3,76%	SIM
AD1.4	12	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,005	1,31	2,86%	SIM
AD1.4	14	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,013	3,37	3,76%	SIM
AD1.4	13	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,005	1,32	2,87%	SIM
AD1.4	AD1.5	76,69	LSVAV 4x95 mm2 NRCP*	0,03	0,95	2,71%	SIM
AD1.5	18	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,014	3,69	4,31%	SIM
AD1.5	16	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,006	1,43	3,33%	SIM
AD1.5	15	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,014	3,69	4,31%	SIM
AD1.5	17	60,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,006	1,43	3,33%	SIM
AD1.5	AD1.6	47,20	LSVAV 4x95 mm2 NRCP*	0,06	1,01	3,15%	SIM
AD1.6	57	45,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,009	1,67	3,87%	SIM
AD1.6	59	45,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,008	1,60	3,84%	SIM
AD1.6	58	45,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,001	0,27	3,26%	SIM
AD1.6							
AD1.6	AD1.7	29,66	LSVAV 4x95 mm2 NRCP*	0,02	0,25	3,26%	SIM
AD1.7	60	45,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,008	1,60	3,95%	SIM
AD1.7	61	45,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,001	0,20	3,34%	SIM
AD1.7	62	45,00	LSVAV 2x16 mm2 NR*	0,008	1,59	3,95%	SIM
AD1.7							

Análise Queda de Tensão

Figura A. 14 - Tabela de análise de Queda de Tensão.

### 3) Análise da Corrente de curto-circuito

Ao terminar a etapa de dimensionamento o utilizador o utilizador poderá seleccionar a folha de cálculo designada por *Análise de Ic*, tendo acesso a todos os valores necessários para análise da corrente de curto circuito, a partir da tabela apresentada na figura A.15. Para gravar a solução o utilizador deverá premir o botão **Gravar**, premindo de seguida o botão **Análise Icc**.

Gravar

Canalização		Ib (A)	Cabo	L (Km)	Condição de Curto-Circuito Mínima			
Início	Fim				Iccmin (A)	tft (s)	ta (s)	tactft e tac5s
PT1	AD2.1	132,07	LVAV 3x185+95 mm2 NRCP*	0,057	5163,53	1,955	0,015	SIM
AD2.1	22	19,32	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,014	1791,07	0,461	0,001	SIM
AD2.1	20	19,32	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,006	2770,62	0,193	0,001	SIM
AD2.1	19	19,32	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,013	1848,71	0,433	0,001	SIM
AD2.1	21	19,32	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,006	2911,03	0,174	0,001	SIM
AD2.1	AD2.2	107,56	LSVAV 4x95 mm2 NRCP*	0,030	3042,59	5,054	0,044	SIM
AD2.2	25	19,32	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,009	1732,44	0,493	0,001	SIM
AD2.2	24	19,32	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,002	2625,39	0,215	0,001	SIM
AD2.2	23	19,32	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,010	1659,30	0,537	0,001	SIM
AD2.2								
AD2.2	AD2.3	88,23	LSVAV 4x95 mm2 NRCP*	0,026	2249,64	9,245	0,042	SIM
AD2.3	26	19,32	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,011	1372,49	0,785	0,001	SIM
AD2.3	27	19,32	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,001	2105,84	0,333	0,001	SIM
AD2.3	28	19,32	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,010	1379,25	0,777	0,001	SIM
AD2.3								
AD2.3	AD2.4	67,67	LSVAV 4x95 mm2 NRCP*	0,037	1635,16	17,498	0,059	SIM
AD2.4	38	14,34	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,008	1192,46	1,040	0,001	SIM
AD2.4	37	14,34	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,001	1546,86	0,618	0,001	SIM
AD2.4	36	14,34	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,008	1204,13	1,020	0,001	SIM
AD2.4								
AD2.4	AD2.5	52,53	LSVAV 4x95 mm2 NRCP*	0,026	1377,26	24,665	0,045	SIM
AD2.5	33	14,34	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,008	1051,06	1,338	0,001	SIM
AD2.5	34	14,34	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,003	1256,59	0,936	0,001	SIM
AD2.5	35	14,34	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,010	1005,67	1,462	0,001	SIM
AD2.5								
AD2.5	AD2.6	35,85	LSVAV 4x95 mm2 NRCP*	0,028	1173,87	33,953	0,016	SIM
AD2.6	32	14,34	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,013	828,43	2,155	0,001	SIM
AD2.6	29	14,34	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,012	844,26	2,075	0,001	SIM
AD2.6	30	14,34	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,005	1015,02	1,435	0,001	SIM
AD2.6	31	14,34	LSVAV 4x16 mm2 NR*	0,004	1038,89	1,370	0,001	SIM
AD2.6	AD1.7	0,00	LSVAV 4x95 mm2 NRCP*	0,398	379,07	325,585	0,622	SIM
AD1.7								
AD1.7								
AD1.7								

Análise Icc

Figura A. 15 - Tabela de análise de Corrente Curto Circuito.

#### 4) Análise orçamental

É apresentada uma tabela, representada na figura A.16, onde é realizada uma estimativa orçamental de cada solução obtida. São apresentados para todas as canalizações o custo inicial e o custo de exploração, sendo apresentado para cada AD o custo total, que engloba o custo da câmara de visita, os custos de investimento e de exploração dos cabos, custo de tubagem, custo de mão de obra e custo dos fusíveis de todas as canalizações que derivam desse AD.

Nesta etapa o utilizador terá que indicar através da caixa de combinação presente em cada quadro o tipo de **AD a utilizar**. Para posterior análise é também indicado que para cada solução desenvolvida, o utilizador preencha o quadro **Descrição dos critérios utilizados**, de modo a indicar os critérios utilizados relativamente à **localização do PT (ex: centro de carga)**, **localização do AD (ex: AD junto do PT)**, **saída (ex: 2)**, n° de anos da instalação (ex: 25 anos) e ainda **seleção dos cabo (ex: solução técnica)**, onde é indicado qual o critério utilizado para escolha dos cabos, se a solução **Técnica**, solução **EDP** ou solução **Económica**. Depois de concluída esta etapa o utilizador terá que premir o botão **Aceitar solução**.



Armário	Início	Fim	Cabo	Comprimento(m)	In (A)	Custo inicial (I)	Custo exploração(I)

Custo inicial total	-	I
Custo exploração total	-	I
Custo total	-	I

Custo total inicial da saída	8.291,90 I
Custo total de exploração da saída	#DIV/0!
Custo total da instalação da saída	#DIV/0!

Descrição dos critérios utilizados

Observações	Localização PT	Localização AD	Saída	nº de anos da instalação	Seleção de cabo
	centro	afastado	Situação 10	10	EDP

Aceitar solução

Figura A. 16 - Quadro de análise orçamental.

Depois de premir o botão **Aceitar solução** o utilizador irá guardar a solução num quadro exatamente igual, demonstrado na figura A.17. Nesse quadro, o utilizador terá de premir o botão **Comparar solução**, para que esta possa ficar gravada para posterior comparação com outras que serão desenvolvidas.

Início	Fim	Cabo	Comprimento(m)	In (A)	Custo inicial (€)	Custo exploração(€)

Custo inicial total	-	€
Custo exploração total	-	€
Custo total	-	€

Custo total inicial da saída	3.558,41 €
Custo total de exploração da saída	#DIV/0!
Custo total da instalação da saída	#DIV/0!

Descrição dos critérios utilizados

Observações	Localização PT	Localização AD	Saída	nº de anos da instalação	Seleção de cabo
	centro	afastado	Situação 10	10	EDP

Comparar solução

Figura A. 17 - Quadro de análise orçamental 2.



# Anexo B

## Definições

No presente anexo são apresentadas algumas definições para uma melhor compreensão do documento [2] [9]:

- **Cabo** - Condutor isolado dotado de bainha ou conjunto de condutores isolados devidamente agrupados, provido de bainha, trança ou envolvente comum;
- **Canalização elétrica** - Conjunto constituído por um ou mais condutores e pelos elementos que asseguram o seu isolamento elétrico, as suas proteções mecânica, química, e elétrica, e a sua fixação, devidamente agrupados e com aparelhos de ligação comuns;
- **Portinhola** - Quadro onde converge o ramal, de que faz parte, e que, em regra, contém os aparelhos de proteção geral contra sobreintensidades das instalações coletivas de edifícios ou entradas ligadas a jusante;
- **Ramal** - Canalização elétrica, sem qualquer derivação, que parte do quadro de um posto de transformação, do quadro de uma central geradora ou de uma canalização principal e termina numa portinhola, quadro de colunas ou aparelho de corte de entrada de uma instalação de utilização;
- **Fator de simultaneidade** - Relação entre o somatório das potências estipuladas dos equipamentos susceptíveis de funcionarem simultaneamente e o somatório das potências estipuladas de todos os equipamentos alimentados pelo mesmo circuito ou pela mesma instalação;
- **Fusível** - Aparelho cuja função é a de interromper, por fusão de um ou mais dos seus elementos concebidos e calibrados para esse efeito, o circuito no qual está inserido, cortando a corrente quando esta ultrapassar, num tempo suficiente, um dado valor;
- **Tensão nominal de uma rede de distribuição** - Tensão pela qual a rede de distribuição é designada e em relação à qual são referidas as suas características;

- **Instalação de baixa tensão** - Instalação em que o valor eficaz ou constante da sua tensão nominal não excede os seguintes valores: a) em corrente alternada: 1000 V; b) em corrente contínua: 1500 V;
- **Corrente de serviço** - Corrente destinada a ser transportada por um circuito em serviço normal;
- **Corrente máxima admissível** - Valor máximo da corrente que pode percorrer, em permanência, um condutor em dadas condições sem que a sua temperatura, em regime permanente, ultrapasse um valor especificado;
- **Corrente de curto-circuito** - Sobreintensidade resultante de um defeito de impedância desprezável entre condutores ativos que apresentem, em serviço normal, uma diferença de potencia.

## Anexo C

### Análise de Casos particulares Utilizando a Aplicação de Apoio ao Projeto das RDBT's

De forma a demonstrar a utilidade da aplicação, foram criados alguns casos particulares, que poderão ser casos reais. Foram analisados dez casos, cada um deles com características diferentes, seja nas próprias características das potências a alimentar, seja nas opções tomadas pelo projetista relativamente às soluções de cabos a utilizar. Os valores orçamentais apresentados poderão ser completamente diferentes para outros preços de material ou até mesmo para outros valores do preço da energia. Os resultados obtidos servem apenas para demonstrar como pequenas diferenças na estrutura da rede alteram a melhor solução para cada caso.

#### Caso 1

Descrição: três cargas com a mesma potência (13,8 KVA) e com a distribuição geográfica visível na figura C.1.

Solução de escolha de cabos: EDP, usando a menor secção possível que respeite todas as condições técnicas.

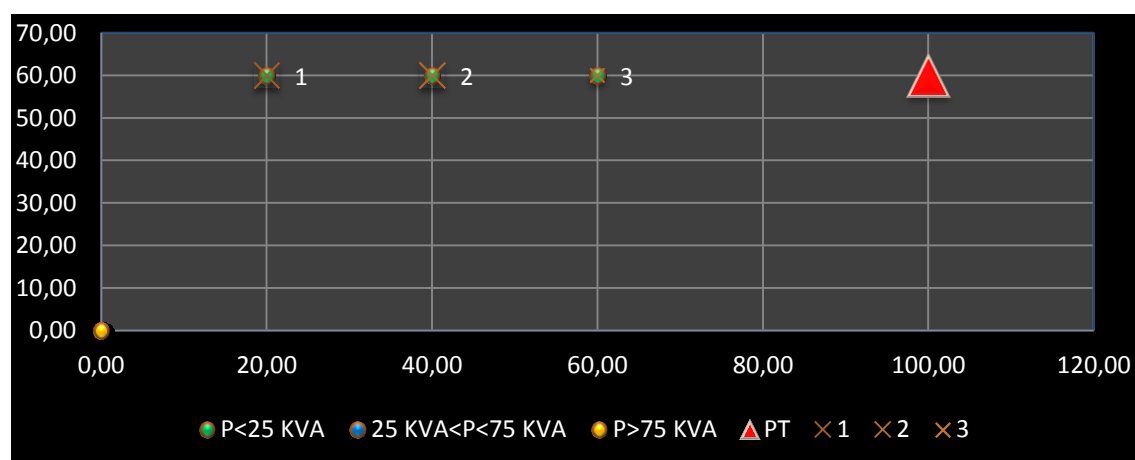
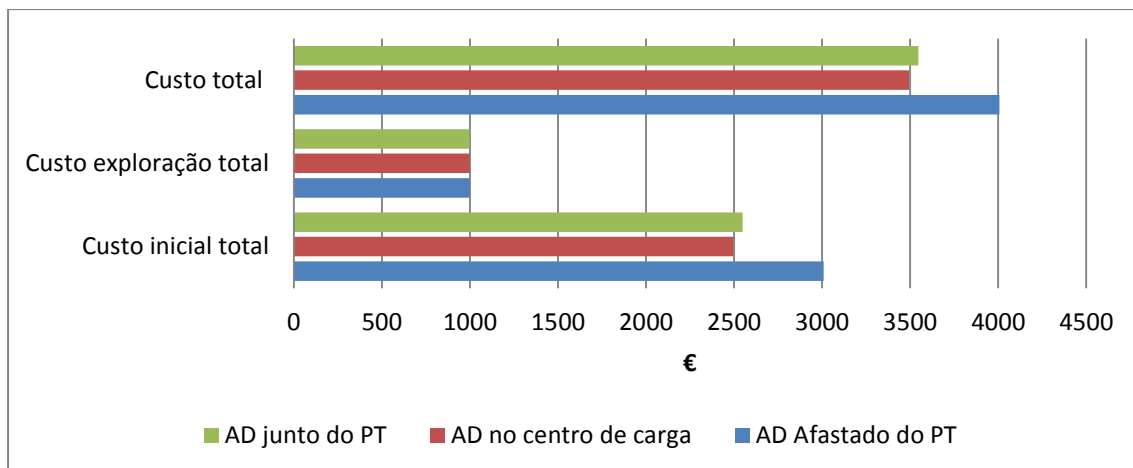


Figura C. 1 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 1).



**Figura C. 2 - Custos para o caso 1.**

Nesta situação a solução de colocar o AD afastado do PT, ou seja, junto da carga 1, é claramente a pior opção, visto que ao optarmos por esta solução iremos aumentar o comprimento da canalização principal não conseguindo diminuir o comprimento total de todos os ramais comparativamente às duas restantes soluções.

Relativamente às duas restantes soluções, estas apresentam resultados bastante semelhantes, sendo que a solução de colocar o AD no centro de carga das potências alimentadas por este é ligeiramente melhor. Esta diferença de resultados deve-se à relação que existe entre os custos iniciais, visto que o custo de exploração será o mesmo.

Pode-se dizer que apesar dos custos mais elevados referentes à canalização principal no caso da solução de colocar o AD no centro de carga das potências alimentadas por este, esta solução apresenta custos menos elevados referentes aos ramais, sendo que esta diferença é superior à anteriormente referida, o que faz com que esta seja a melhor solução de localização de AD's para este tipo de caso.

## Caso 2

Descrição: três cargas com a mesma potência (13,8 KVA) e com a distribuição geográfica visível na figura C.3.

Solução de escolha de cabos: EDP, usando a menor secção possível para os ramais e a máxima para canalização principal que deriva diretamente do PT, que respeitem as condições técnicas.

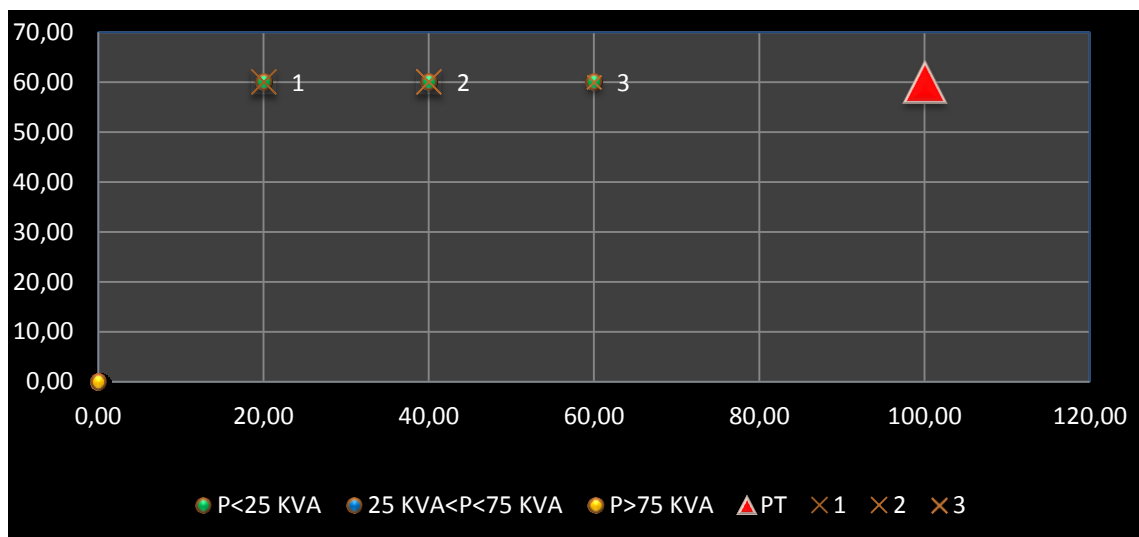


Figura C. 3 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 2).

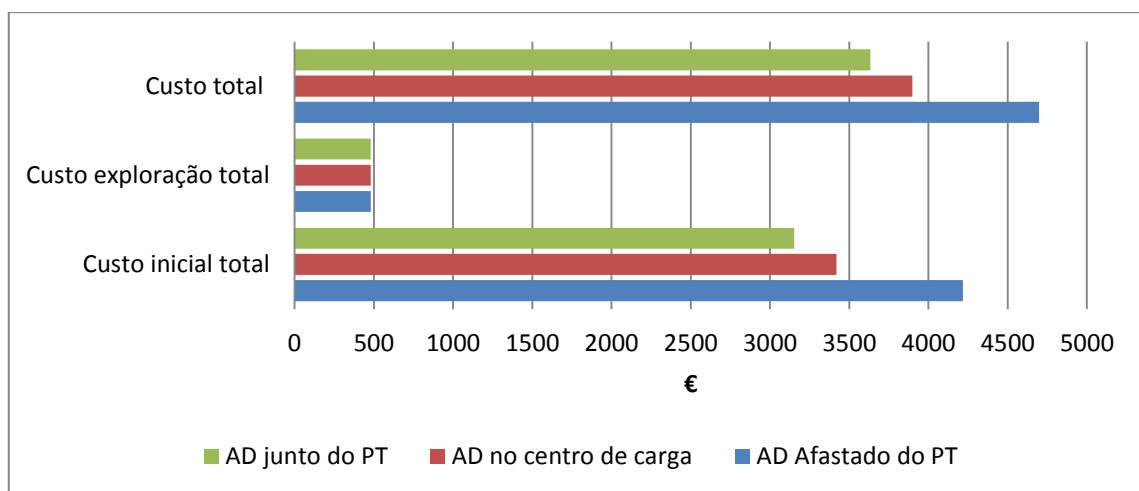


Figura C. 4 - Custos para o caso 2.

A única diferença deste caso para o anterior é apenas na escolha da secção do cabo para a canalização principal. Tal como a EDP habitualmente faz, na canalização principal que deriva diretamente do PT é usada uma secção bastante elevada, mesmo que no momento não seja necessária para que sejam verificadas as condições técnicas regulamentares. Esta opção relativamente à anterior terá valores mais elevados para a canalização principal devido ao aumento substancial do preço do cabo. Tal fato influencia como é visível no gráfico, a escolha da melhor solução que é neste caso a de colocar o AD junto do PT. Ao se optar por esta solução, o comprimento da canalização principal é o mais curto das três soluções possíveis de localizar o AD, o que faz com que esta seja a melhor solução mesmo tendo valores mais elevados referentes ao custo total dos ramais quando comparados com o custo total dos ramais da solução de colocar o AD no centro de carga das potências alimentadas por este.

### Caso 3

Descrição: as duas cargas com a mesma potência (13,8 KVA) encontram-se mais próximas do PT e a outra mais afastada do PT tem uma potência de 100 KVA e com a distribuição geográfica visível na figura C.5.

Solução de escolha de cabos: EDP, usando a menor secção possível para os ramais e a máxima para canalização principal que deriva diretamente do PT, que respeitem as condições técnicas.

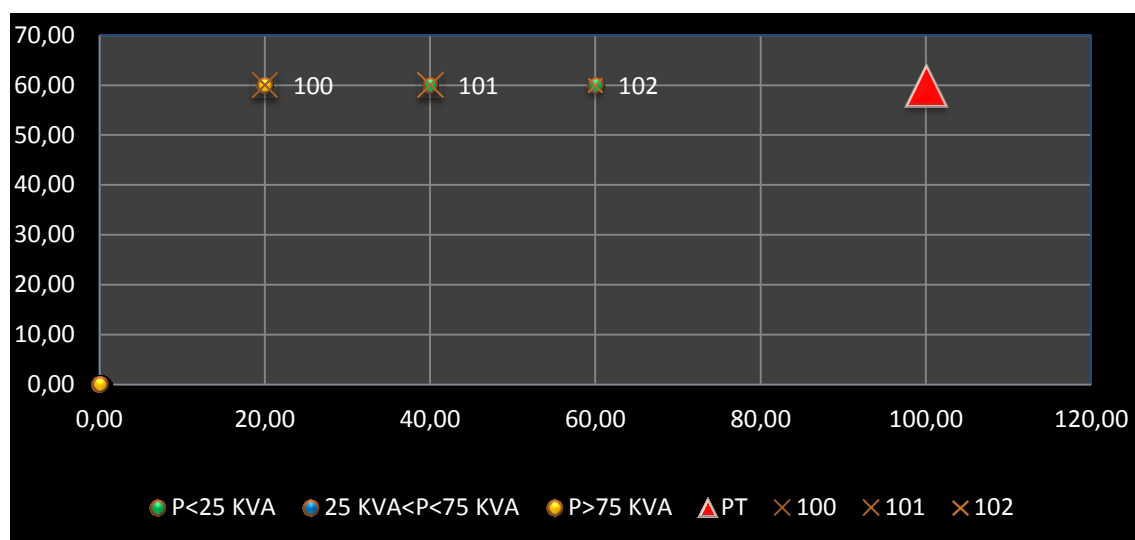


Figura C. 5- Localização geográfica de cargas e PT (caso 3).

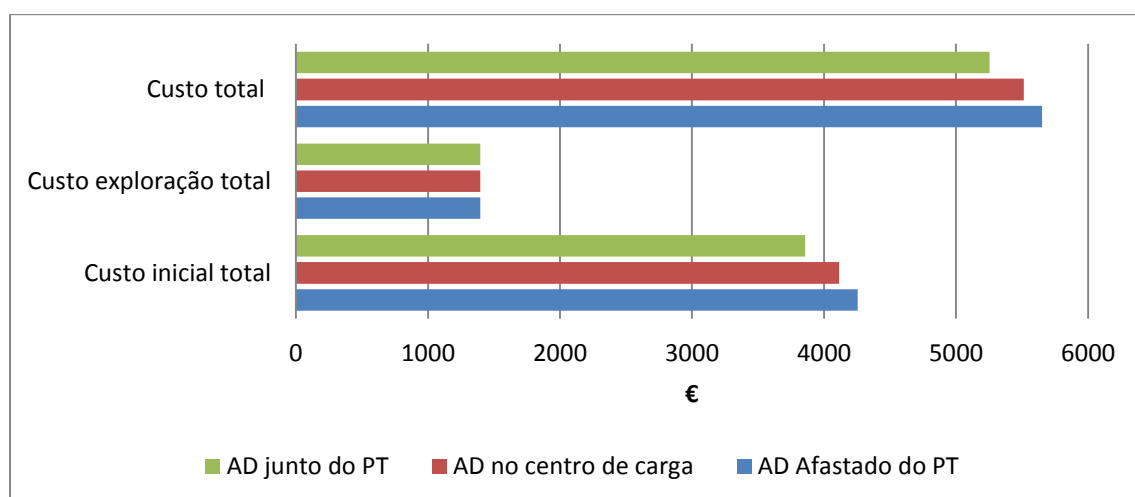


Figura C. 6 - Custos para o caso 3.

Relativamente ao caso anterior, a única diferença neste caso é a potência da carga mais afastada do PT. É possível comparando as figuras 4.74 e 4.76 que a melhor solução e a pior solução continuam a ser as mesmas, apesar de se notar uma diferença bastante menor da solução de colocar o AD afastado do PT relativamente às outras duas, isto porque o cabo a ser usado para a carga mais afastado do PT terá agora ser de maior secção e, portanto o custo inicial desse ramal será substancialmente superior quando comparada com o caso anterior. Ao



colocarmos o AD junto dessa carga estamos a diminuir esse custo o que faz com que esta solução apesar de ser ainda a pior, já não seja tão desfavorável.

Devido ao uso de uma secção elevada para a canalização principal que deriva diretamente do PT, a solução de colocar o AD junto do PT continua a ser a melhor, mas pode-se dizer que caso se usasse apenas a secção que garantisse a verificação das condições técnicas tal solução poderia já não ser a melhor, devido à influência que o custo inicial dessa canalização passaria a ter no custo total inicial.

#### Caso 4

Descrição: as duas cargas com a mesma potência (100 KVA) encontram-se mais afastadas do PT e a outra mais junto do PT tem uma potência de 13.8 KVA com a distribuição geográfica visível no gráfico.

Solução de escolha de cabos: EDP, usando a menor secção possível para os ramaís e a máxima para canalização principal que deriva diretamente do PT, que respeitem as condições técnicas.

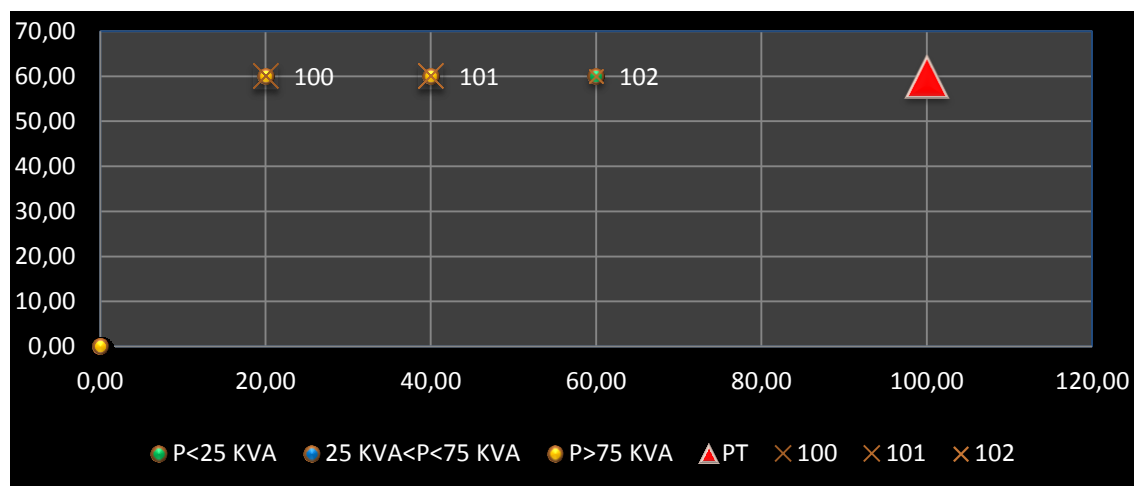


Figura C. 7 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 4).

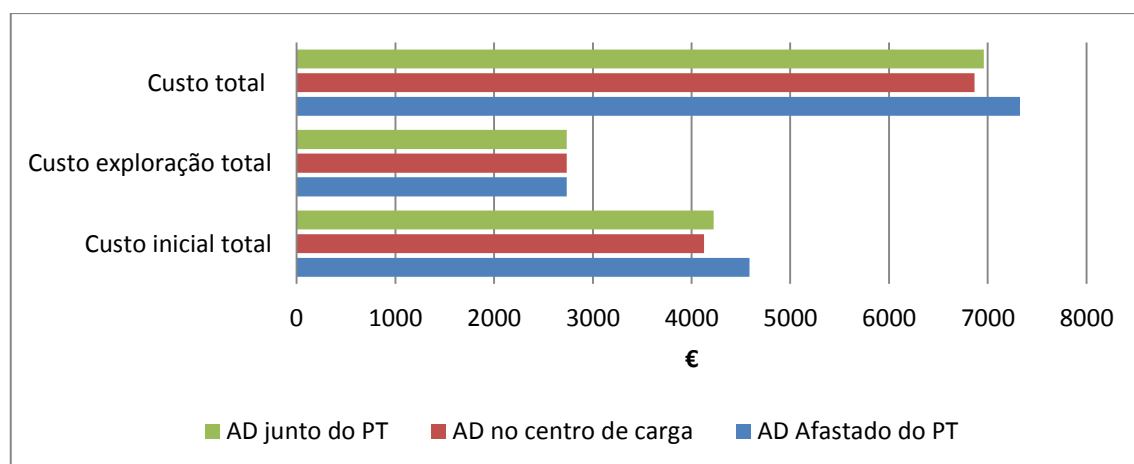


Figura C. 8 - Custos para o caso 4.

Neste caso semelhante ao anterior tem-se apenas uma alteração relativamente à potência de uma das cargas. Tal alteração provocou uma diferença relativamente à melhor solução a usar, passando agora a ser a solução de colocar o AD no centro de carga das potências alimentadas por este a melhor solução económica.

Se no caso anterior tínhamos que usar num dos ramais um cabo com secção maior que os restantes, agora teremos essa secção em dois dos três ramais. Tal alteração provoca um aumento da percentagem do custo total dos ramais no custo inicial total. Sendo a solução de colocar o AD no centro de carga das potências alimentadas por este a que geralmente apresenta menores valores relativamente a esses custos, faz com que esta seja a melhor solução para este caso.

### Caso 5

Descrição: três cargas com a mesma potência (13,8 KVA) com a distribuição geográfica visível na figura C.9.

Solução de escolha de cabos: EDP, usando a menor secção possível para os ramais e a máxima para canalização principal que deriva diretamente do PT, que respeitem as condições técnicas.

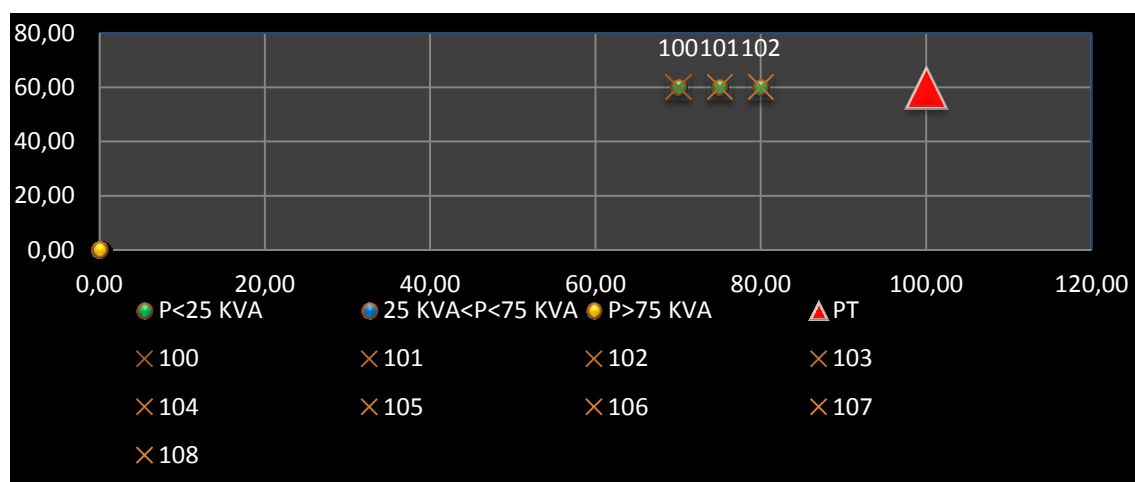


Figura C. 9 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 5).

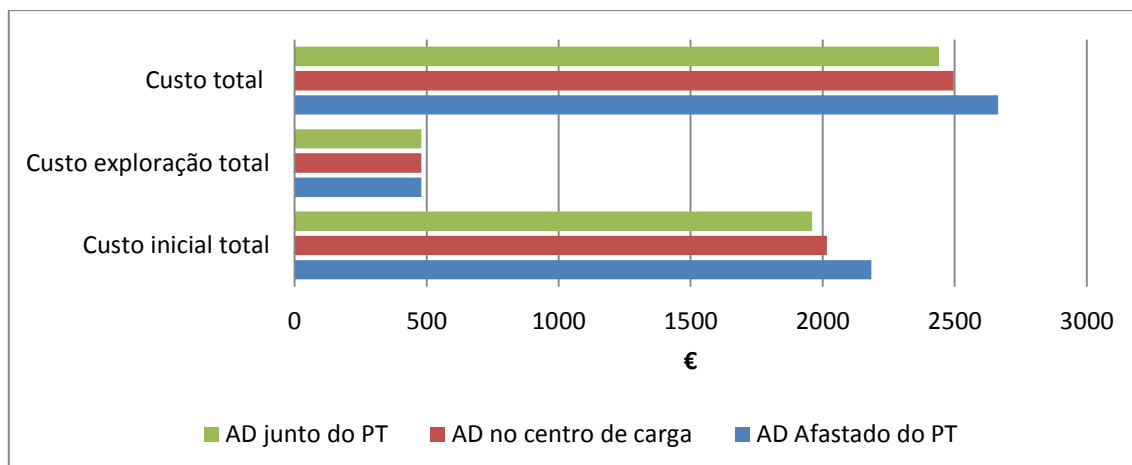


Figura C. 10 - Custos para o caso 5.

Este caso é idêntico ao caso 2, sendo apenas a canalização principal mais curta nesta situação. A melhor e pior solução continuam a ser exatamente as mesmas, variando apenas os custos totais que estão diretamente ligados ao custo da canalização principal e custo total dos ramais que neste caso serão mais curtos.

### Caso 6

Descrição: nove cargas com a mesma potência (13,8 KVA) com a distribuição geográfica visível na figura C.11, alimentadas por três AD's. O 1º AD alimenta as cargas 101, 102 e 103, O 2º AD alimenta as cargas 103, 104 e 105 e o último AD alimenta as cargas 106, 107 e 108.

Solução de escolha de cabos: EDP, usando a menor secção possível para os ramais e a máxima para canalização principal que deriva diretamente do PT, que respeitem as condições técnicas.

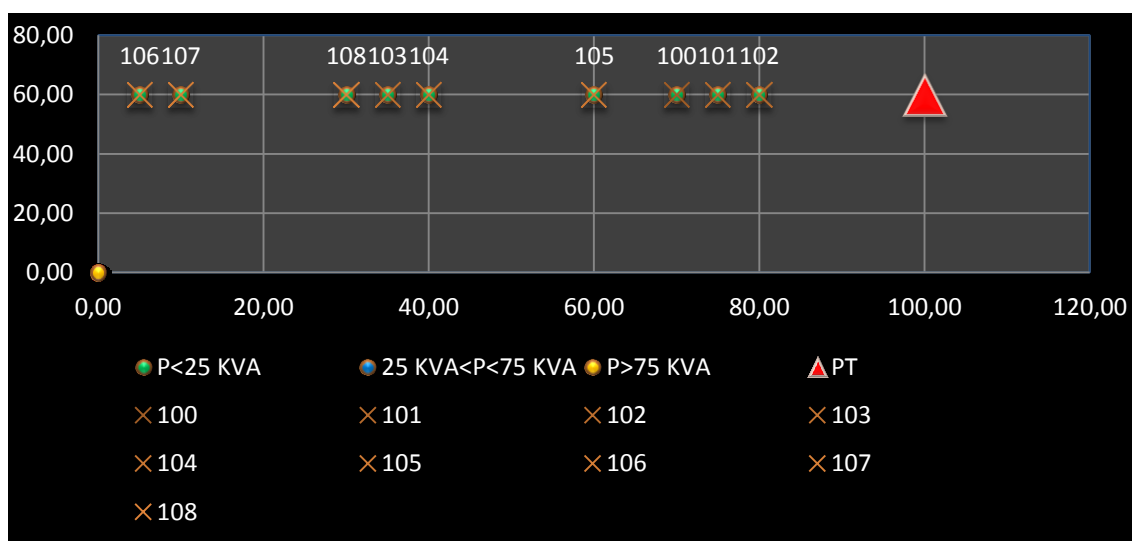


Figura C. 11 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 6).

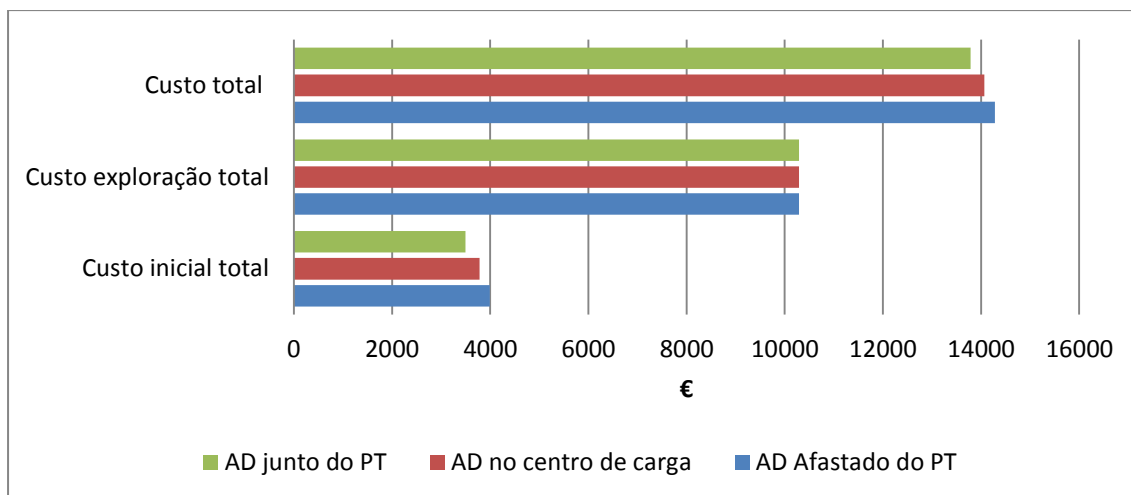


Figura C. 12 - Custos para o caso 6.

Neste caso o número de cargas a alimentar é maior, de forma a aumentar a diferença de comprimento total dos ramais entre a solução de colocar o AD no centro de carga das potências a alimentar por este e as duas restantes soluções. Ainda assim, através da figura 4.82 é possível verificar que a melhor solução é a de colocar o AD junto do PT. Existe ainda outro dado que deve ser analisado. As seis cargas mais afastadas do PT encontram-se distribuídas de forma diferente das três mais juntas do PT. De forma propositada dentro de cada grupo de cargas alimentadas por um AD colocaram-se duas delas muito juntas estando estas afastadas da 3ª carga. De referir que esta 3ª carga, afastada das restantes, é a que está mais junta do PT. Tal fato implica que os custos totais de ramais serão mais elevados no caso da solução de colocar o AD junto do PT ou junto do AD a montante, visto que o comprimento total dos ramais para esta solução será o mais elevado.

Pode-se concluir pelo que acabou de ser descrito no parágrafo anterior, que mesmo apresentando o caso mais desfavorável relativamente ao custo total dos ramais, a solução de colocar o AD junto do PT ou junto do AD a montante é para este tipo casos a melhor solução.

### Caso 7

Descrição: nove cargas com a mesma potência (13,8 KVA) e com a distribuição geográfica visível na figura C.13 alimentadas por três AD's.

Solução de escolha de cabos: EDP usando a menor secção possível para os ramais e para canalização principal que respeitem as condições técnicas.

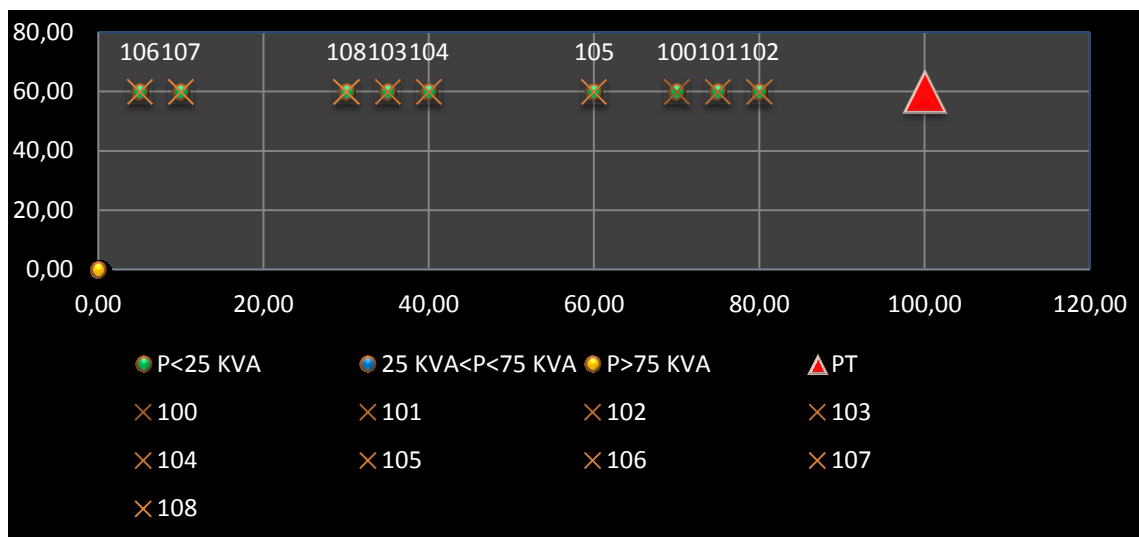


Figura C. 13 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 7).

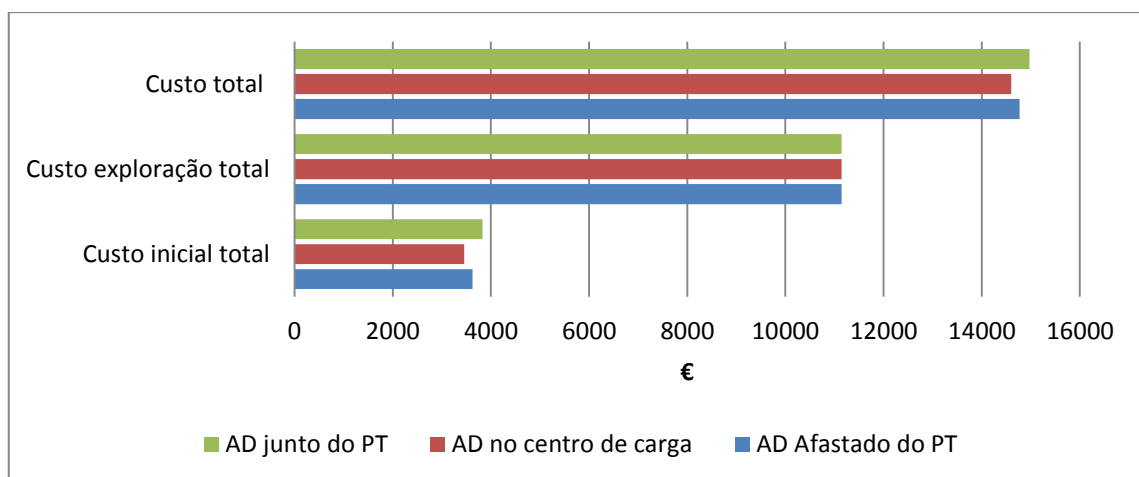


Figura C. 14 - Custos para o caso 7.

A única diferença entre este caso e o anterior é na secção do cabo a ser usada na canalização principal, sendo neste caso a menor secção que satisfaça as condições técnicas. Tal fato implicará que relativamente ao caso anterior, a influência que a percentagem do custo da canalização principal terá no custo inicial total seja menor.

Através do gráfico é visível observar que a melhor solução neste caso é a solução de colocar o AD no centro de carga das potências alimentadas por este, sendo a 2ª melhor solução pela primeira vez nos casos estudados até agora, a solução de colocar o AD afastado do PT ou afastado do AD a montante.

A conclusão que se pretendia retirar no caso anterior relativamente à influência da distribuição geográfica foi apenas possível neste caso, quando se alterou a forma de escolha da secção dos cabos.

## Caso 8

Descrição: nove cargas com a mesma potência (13,8 KVA) com a distribuição geográfica visível na figura C.15 alimentadas por três AD's.

Solução de escolha de cabos: EDP usando a menor secção possível para os ramais e para canalização principal que respeitem as condições técnicas.

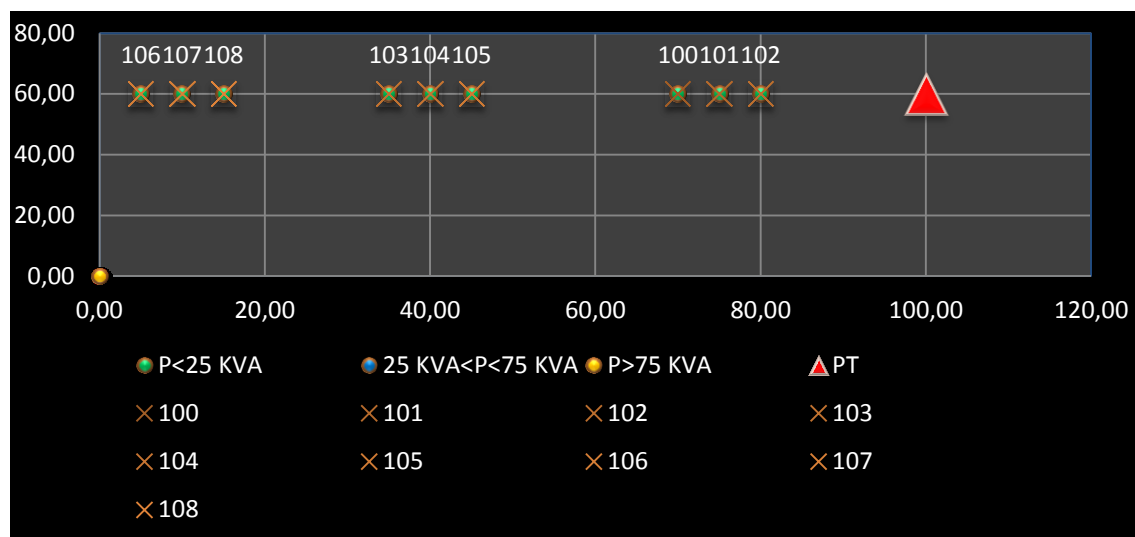


Figura C. 15 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 8).

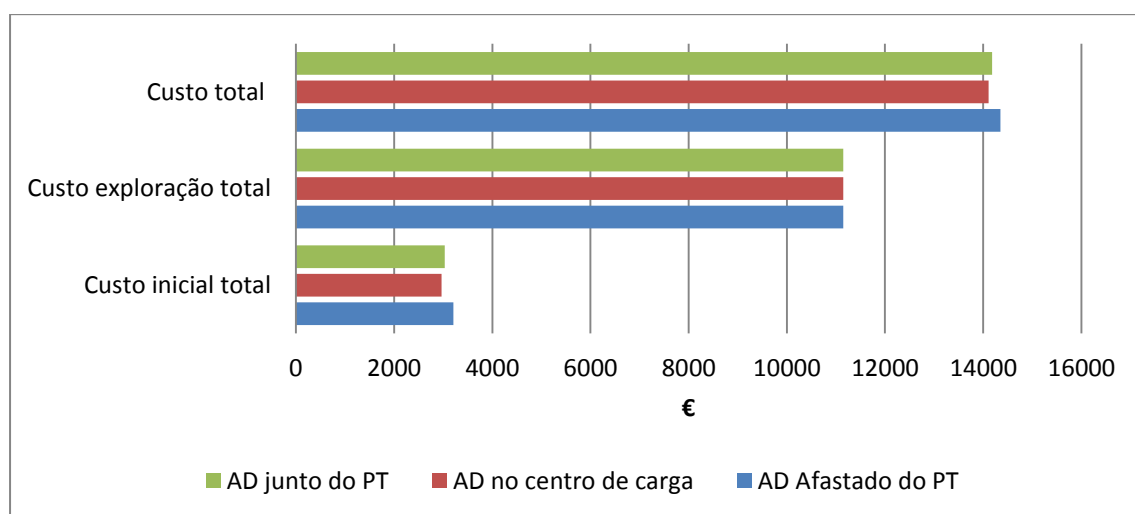


Figura C. 16 - Custos para o caso 8.

O caso 8 apresenta diferenças relativamente ao caso 7, no que diz respeito à localização geográfica das cargas. Cada grupo de três cargas alimentadas por diferentes AD's estão agora com uma distribuição geográfica, onde o cento de carga de cada grupo de cargas localiza-se na carga que se encontra no meio das duas restantes. Isto implica que o comprimento total de ramais seja o mesmo para a solução de colocar o AD junto do PT ou junto do AD a montante e para a solução de colocar o AD afastado do PT ou afastado do Ad a montante. Percebe-se que a solução que apresentar menor comprimento de canalização principal entre as duas soluções referidas será a melhor solução das duas. Como seria de esperar, através da

figura 4.86 é visível que a solução de colocar o AD junto do PT é a mais vantajosa. Mesmo assim a solução de colocar o AD no centro de carga das potências alimentar é a mais vantajosa neste caso tal como acontecia no caso anterior.

### Caso 9

Descrição: seis cargas alimentadas por dois AD's, cinco delas com a mesma potência (13,8 KVA), tendo a outra uma potência de 50 KVA e com a distribuição geográfica visível na figura C.17.

Solução de escolha de cabos: EDP usando a menor secção possível para os ramais e para canalização principal que respeite as condições técnicas, sendo usada na canalização principal sempre a mesma secção.

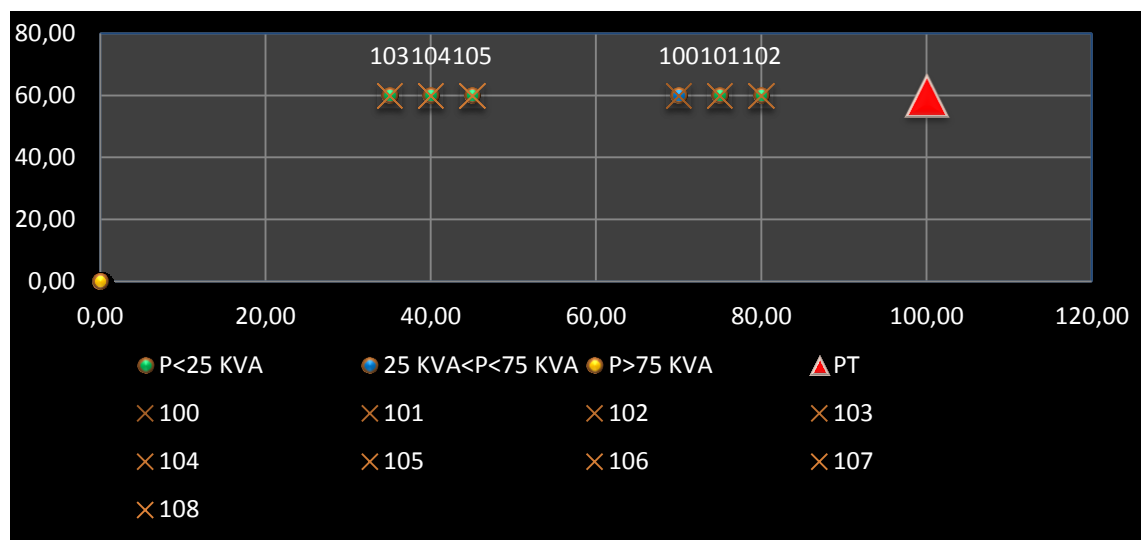


Figura C. 17 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 9).

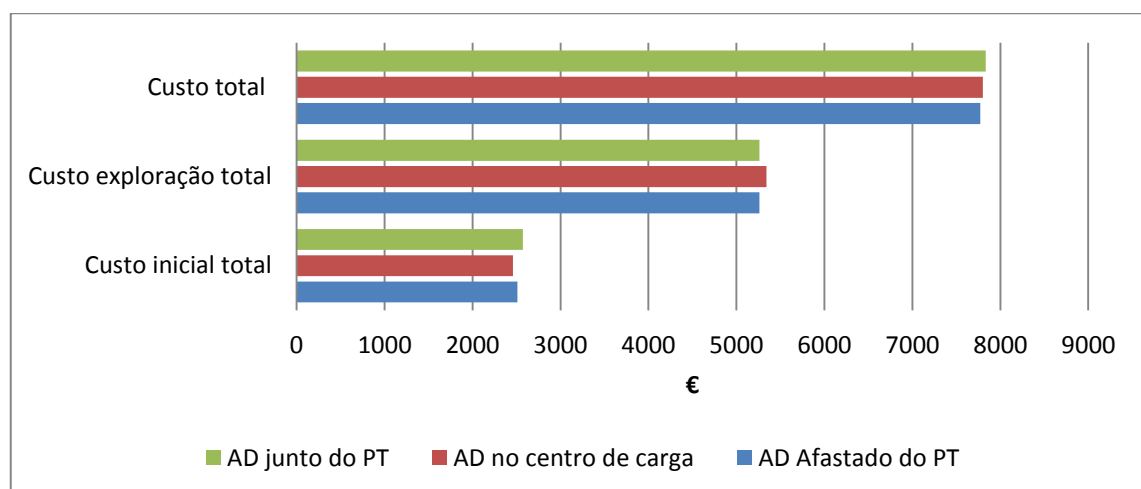


Figura C. 18 - Custos para o caso 9.

Neste caso, pela primeira vez a solução de colocar o AD afastado do PT é a melhor solução. De referir que no caso do AD que alimenta as cargas 103, 104 e 105 este está situado junto do AD a montante, junto da carga 105.

Sendo o cabo usado em toda a canalização principal o mesmo, pelo fato do comprimento da canalização principal ter de ser no mínimo a distância entre o PT e a carga 105, interessa perceber qual será a melhor opção de localização do AD que alimenta as cargas 101, 102 e 103. Neste caso como temos uma potência mais elevada na carga mais afastada do PT dentro das cargas alimentadas pelo 1º AD, interessa diminuir o comprimento desse ramal, visto que o cabo que terá que ser usado nesse terá um custo mais elevado. Para que tal aconteça é necessário optar pela solução de colocar o AD junto da carga 100, ou seja, colocar o AD afastado do PT. Através do gráfico verifica-se que é realmente a melhor opção neste caso. De salientar que este caso, com outro tipo de escolha de secção dos cabos para canalização principal poderá apresentar outro resultado relativamente à melhor e pior solução.

### Caso 10

Descrição: três cargas, as duas mais próximas do PT com a mesma potência (13,8 KVA), tendo a outra uma potência de 50 KVA e com a distribuição geográfica visível na figura C.19.

Solução de escolha de cabos: EDP usando a menor secção possível para os ramaís e para canalização principal que respeitem as condições técnicas.

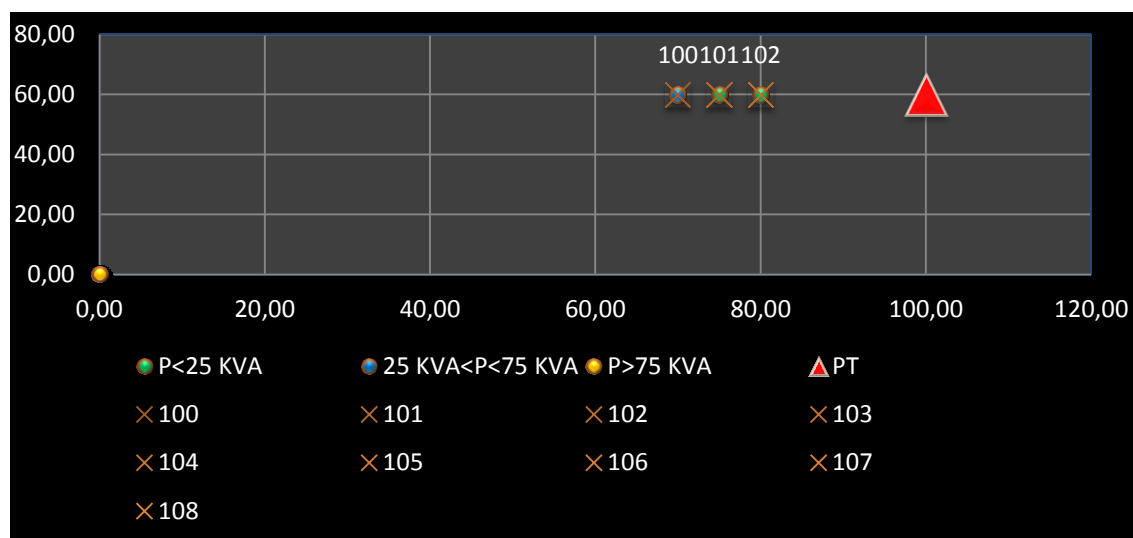
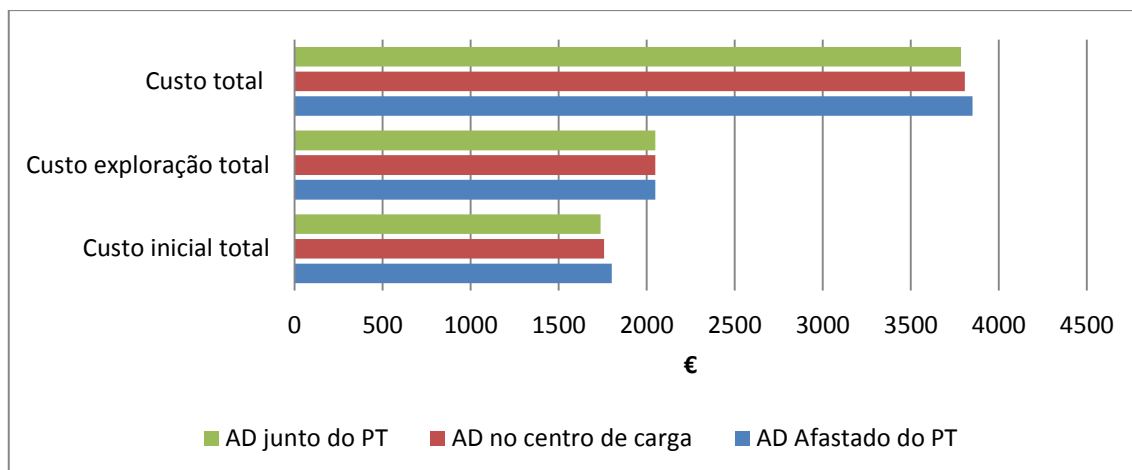


Figura C. 19 - Localização geográfica de cargas e PT (caso 10).





**Figura C. 20 - Custos para o caso 10.**

Neste caso mantiveram-se as três cargas mais juntas do PT e foram retiradas as três mais distantes presentes no caso anterior. Através do gráfico é visível um dado bastante interessante. Ao desaparecerem as três cargas, aquela que era a pior solução no caso anterior passa agora a ser a melhor solução.

De fato no caso anterior se considerássemos apenas as primeiras três cargas o resultado seria o mesmo, mas visto que existem mais três cargas alimentar, considerando que o AD que as alimenta encontra-se localizado junto do AD a montante, ou seja, junto da carga 105, existem diferentes comprimentos de canalização principal para as diferentes localizações do 1º AD. Estas diferenças são convertidas em custos que indicam qual a melhor solução.

#### **Conclusão sobre localização dos AD's**

Como é possível verificar através dos 10 casos abordados, poderão existir inúmeras configurações de rede. Foram usados casos mais simples para demonstrar que uma pequena alteração seja na localização das cargas, na potência das mesmas e no tipo de solução de escolha do cabo, poderá ditar diferenças da melhor solução de localização dos AD's.